

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Ověření technického normativu hmotnosti vlaku pro dopravce

Verification of Train Technical Weight Normative for Carrier

Student:

Jakub Tížek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Tížek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie  
Téma: **Ověření technického normativu hmotnosti vlaku pro dopravce**  
**Verification of Train Technical Weight Normative for Carrier**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Analýza výpočtů hmotnostních parametrů vlaků.
3. Návrh postupu výpočtu normativu hmotnosti vlaku.
4. Návrh provozních pomůcek pro stanovení normativu hmotnosti.
5. Ověření stanovení normativu hmotnosti pro vybraná hnací vozidla a traťové úseky.
6. Provozně technické hodnocení návrhu modelu.

Seznam doporučené odborné literatury:

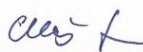
Široký, J. Mechanika v dopravě II. Příklady. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava. 2006.  
Široký, J. Mechanika v dopravě I. Ostrava: VŠB – technická univerzita Ostrava. 2006.  
Předpis SŽDC D1 Dopravní předpis. [online: [www.szdc.cz](http://www.szdc.cz)]  
ČD V7 Trakční výpočty. Praha: FMD Praha. [online: [www.szdc.cz](http://www.szdc.cz)]  
Podklady dopravce  
Podklady SŽDC

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Široký, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadu, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladu, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona c. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jakub Tížek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bravantice 58, Bravantice, 742 81

## Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaromíru Širokému, Ph.D. za cenné rady a připomínky pro vytvoření této práce.

Jakub Tížek

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Cílem teoretické části práce je rozbor rovnice pohybu vlaku, na kterou navazuje část popisující vztahy pro určení normativu hmotnosti vlaku. Praktická část bakalářské práce je tvořena z návrhu provozních a učebních pomůcek a obsluhy těchto pomůcek. V závěru praktické části je proveden ověřující výpočet a porovnání zadaného hnacího vozidla s vybranými hnacími vozidly. Následuje provozně technické zhodnocení.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

The goal of the theoretical part of this bachelor thesis is analysis of the equation of the motion of the train. This part is followed by a section describing relations for determining train weight normative. The practical part of the bachelor thesis is created from the operation design and teaching aids and its' operation. At the end of the practical part the verifying calculation is executed and comparison of the specified drive vehicles with selected drive vehicles. Operational technical assessment follows.

## Obsah

1 Úvod.....	12
2 Analýza výpočtů hmotnostních parametrů vlaků .....	13
2.1 Základní pojmy .....	13
2.2 Tažná síla HV .....	14
2.2.1 Adhezní tažná síla.....	15
2.3 Odpory proti pohybu vozidla.....	15
2.3.1 Traťové odpory .....	16
2.3.2 Vozidlové odpory .....	22
2.3.3 Odpor ze zrychlení.....	23
2.4 Pohybová rovnice kolejových vozidel.....	25
3 Návrh postupu výpočtu normativu hmotnosti vlaku.....	27
3.2 Vztahy pro určení normativu hmotnosti .....	28
3.3 Grafické metody stanovení normativu hmotnosti.....	31
3.3.1 Korefův (průsečíkový) nomogram.....	32
3.3.2 Mrkvičkův (spojnicový) nomogram .....	33
3.4 Tabulky technického normativu hmotnosti (zátěžové tabulky).....	35
3.5 Zvolené metody pro provozní a učební pomůcky .....	36
4 Návrh provozních pomůcek pro stanovení normativu hmotnosti.....	36
4.1 Siemens Vectron MS řady X4 .....	36
4.2 Analýza trakční charakteristiky pro provozní a učební pomůcky .....	38
4.3 Provozní pomůcka A .....	42
4.3.1 Rozbor jednotlivých oblastí.....	43
4.4 Provozní pomůcka B.....	51
4.4.1 Rozbor jednotlivých oblastí.....	51
Obr. 4.31: Ukázka vizualizace provozní pomůcky B na chytrém telefonu. ....	54
4.5 Učební pomůcka .....	54
5 Ověření stanovení normativu hmotnosti pro vybraná vozidla a traťové úseky .....	57
5.1 Ověření provozní pomůcky A (B) .....	58
5.2 Ověření učební pomůcky .....	60
5.3 Porovnání HV Siemens Vectron MS řady X4 s ostatními HV.....	61
6 Provozně technické zhodnocení.....	63
7 Závěr .....	64

8 Seznam použité literatury .....	65
9 Seznam příloh .....	66



## Seznam použitých zkratek a symbolů

$F_a$	[N]	adhezní tažná síla
$F_i$	[N]	indikovaná tažná síla
$F_o$	[N]	tažná síla na obvodu hnacích kol
$F_s$	[N]	tažná síla na spřáhle
$F_{sP}$	[N]	tažná síla na spřáhle pro požadovanou rychlost
$F_{sR}$	[N]	tažná síla na spřáhle pro rozjezd
$F_{sN}$	[N]	náběhová tažná síla na spřáhle
$G_a$	[N]	adhezní tíha
$G_D$	[N]	tíha tažených vozidel
$G_L$	[N]	tíha hnacího vozidla
$G_V$	[N]	tíha vozidla
$G_{VL}$	[N]	tíha vlaku
HV	–	hnací vozidlo
$I_{dv}$	[kg·m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	moment hybnosti dvojkolí
$M_D$	[t]	hmotnost tažených vozidel
$M_L$	[t]	hmotnost hnacího vozidla
$M_P$	[t]	průjezdový normativ hmotnosti
$M_R$	[t]	rozjezdový normativ hmotnosti
$M_{s\ dv}$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	setrvačný moment dvojkolí
$M_T$	[t]	technický normativ hmotnosti
$M_V, m_V$	[t, kg]	celková hmotnost vozidla
$O$	[N]	jízdní odpor
$O_f$	[N]	odpor valení kola po kolejnici
$O_l$	[N]	odpor čepového tření v ložiscích
$O_V$	[N]	vozidlový odpor
$O_{vz}$	[N]	odpor prostředí
$O_{pos}$	[N]	odpor zrychlení posuvných hmot
$O_{rot}$	[N]	odpor zrychlení rotujících hmot
$O_T$	[N]	traťový odpor
$O_{obl}$	[N]	odpor oblouku
$O_{skl}$	[N]	odpor sklonu
$O_{tun}$	[N]	odpor tunelu

$O_{zr}$	[N]	odpor ze zrychlení
SŽDC	–	Správa železniční dopravní cesty
$v, V$	$[m \cdot s^{-1},$ $km \cdot h^{-1}]$	rychlost
$V_{krit}$	$[km \cdot h^{-1}]$	kritická rychlost
$V_2$	$[km \cdot h^{-1}]$	rychlost na začátku náběhového stoupání
$V_1$	$[km \cdot h^{-1}]$	rychlost na konci náběhového stoupání
$a$	[1]	vliv odporu valení nezávislý na rychlosti
$a_p$	$[m \cdot s^{-2}]$	zrychlení
$b$	[1]	vliv ložiskového odporu závislý na rychlosti
$c$	[1]	vliv odporu prostředí závislý na kvadrátu rychlosti
$g$	$[m \cdot s^{-2}]$	tíhové zrychlení
$s$	[‰]	sklon tratě
$o$	[1]	součinitel jízdního odporu
$o_D$	[1]	součinitel odporu tažených vozidel
$\bar{o}_D$	[1]	střední hodnota součinitele vozidlového odporu v uvažovaném rozsahu rychlosti
$o_L$	[1]	součinitel odporu hnacího vozidla
$o_V$	[1]	součinitel vozidlového odporu
$o_T$	[1]	součinitel trat'ového odporu
$o_{pos}$	[1]	součinitel odporu ze zrychlení posuvných hmot
$o_R$	[1]	součinitel odporu rozjezdu
$o_{zr}$	[1]	součinitel odporu ze zrychlení
$p$	[m]	převýšení tratě
$r$	[m]	poloměr dvojkolí
$s_r$	[‰]	redukovaný sklon tratě
$s_{rk}$	[‰]	rozhodné stoupání tratě
$s_{rz}$	[‰]	rozhodný spád tratě
$s_p$	[‰]	přídavný sklon
$s_{obl}$	[‰]	přídavný sklon pro určitý oblouk
$s_{tun}$	$[N \cdot kN^{-1}]$	přídavný odpor tunelu
$t$	[s]	čas
$w_D$	$[N \cdot kN^{-1}]$	součinitel vozidlového odporu tažených vozidel

$w'_D$	$[\text{N} \cdot \text{t}^{-1}]$	součinitel vozidlového odporu tažených vozidel
$w_L$	$[\text{N} \cdot \text{kN}^{-1}]$	součinitel vozidlového odporu hnacího vozidla
$w'_L$	$[\text{N} \cdot \text{t}^{-1}]$	součinitel vozidlového odporu hnacího vozidla
$w_{stř}$	$[\text{N} \cdot \text{t}^{-1}]$	střední měrný vozidlový odpor vlaku
$\varepsilon$	[1]	součinitel využití adheze
$\eta_M$	[1]	účinnost prvotního zdroje výkonu
$\eta_{PV}$	[1]	účinnost přenosu výkonu
$\mu_a$	[1]	součinitel adheze
$\rho$	[1]	součinitel rotujících částí

# 1 Úvod

Jednou z obvyklých povinností provozních pracovníků dráhy je posouzení maximální přípustné hmotnosti, kterou je schopno dané hnací vozidlo dopravit na stanoveném traťovém úseku dříve určenou rychlostí.

Tato bakalářská práce má za cíl vytvořit interaktivní provozní a učební pomůcky pomocí software Microsoft Excel 2010, které na základě zadaných vstupních hodnot stanoví normativ hmotnosti v tunách. Normativem hmotnosti rozumíme podle předpisu D1 SŽDC dopravní hmotnost určitého typu jízdního odporu odpovídající pravidelným jízdním dobám.

Práce je rozčleněna do teoretické a praktické části. Obsahem prvního bodu teoretické části je analýza hmotnostních parametrů vlaků, tedy rozbor pohybové rovnice vlaku a definice základních pojmů vztahujících se k tématu stanovení normativu hmotnosti vlaku. Na tento bod navazuje kapitola návrh postupu výpočtu normativu hmotnosti vlaku, v níž jsou popsány analytické a grafické metody stanovení normativu hmotnosti vlaku.

Praktická část je motivována pohodlnějším stanovením normativu hmotnosti vlaku, protože i v dnešní době je v praxi velká část výpočtů pro stanovení normativu hmotnosti vlaku prováděna ručně, případně je hodnota normativu hmotnosti vlaku stanovena ze zátěžových tabulek uvedených v prvním doplňku předpisu D2. Praktická část bakalářské práce se zabývá návrhem provozních a učebních pomůcek pro stanovení normativu hmotnosti vybraného hnacího vozidla. Vybraným hnacím vozidlem je hnací vozidlo Siemens Vectron, které je moderním hnacím vozidlem s absencí zátěžové tabulky v prvním doplňku předpisu D2. Stanovení normativu hmotnosti tedy musí být prováděno ručně, a proto je snaha vytvořit interaktivní pomůcku pro snadné určení normativu hmotnosti. V závěru praktické části bude proveden ukázkový výpočet ověřující vztahy pro stanovení normativu hmotnosti použité v provozních a učebních pomůckách. Dále proběhne porovnání zadaného hnacího vozidla s vybranými hnacími vozidly, která se vyskytují na dopravní cestě provozované SŽDC a následné provozně technické zhodnocení provozních a učebních pomůcek.

## **2 Analýza výpočtů hmotnostních parametrů vlaků**

V této kapitole definujeme základní pojmy, které budou vycházet z platného znění technické normy TNŽ 28 0002, pojednávající o základním názvosloví v mechanice vozby. Bohužel uvedená norma je pouze doporučující, není ustanovena v zákonech České republiky. V důsledku toho se můžeme ve vlastních předpisech provozovatelů dráhy a drážní dopravy setkat s odlišným definováním. Dále je v kapitole uvedena analýza základní pohybové rovnice kolejových vozidel a jejich jednotlivých složek.

### **2.1 Základní pojmy**

„dopravní hmotnost – celková hmotnost všech dopravovaných vozidel“ [4]

„hmotnost prázdného vozidla – hmotnost vozidla bez nákladu, cestujících, personálu a provozních hmot“ [4]

„hmotnost vozidla – součet hmotnosti prázdného vozidla, nákladu, cestujících, personálu a provozních hmot“ [4]

„maximální hmotnost vozidla – největší přípustný součet hmotnosti prázdného vozidla, nákladu, cestujících, provozních hmot a personálu při úplném počtu obsluhy“ [4]

„náběhový technický normativ hmotnosti – přípustná dopravní hmotnost pro jízdu vlaku na strmém krátkém stoupání, zdolávaném náběhem“ [4]

„průjezdový normativ hmotnosti – normativ dopravní hmotnosti vlaku pro danou řadu hnacího vozidla, platný při průjezdu vlaku určeným místem nebo úsekem bez zastavení, příp. bez omezení rychlosti pod stanovenou hodnotu“ [4]

„rozjezdový normativ hmotnosti – normativ dopravní hmotnosti pro danou řadu hnacího vozidla, platný při rozjezdu vlaku v určeném místě nebo úseku“ [4]

„technický normativ hmotnosti – dopravní hmotnost, pro kterou byly při určitém typu vozidlového odporu a pro určenou řadu hnacího vozidla stanoveny pravidelné jízdní doby“ [4]

## 2.2 Tažná síla HV

Síla, která působí ve směru jízdy, bývá vyvíjená hnacím zařízením a přenáší se na nápravu zařízením pro přenos výkonu.

U HV rozlišujeme tři působíště tažné síly:

- indikovaná tažná síla  $F_i$  – tažná síla stanovená na prvotním zdroji mechanické energie (spalovací motor, elektromotor, parní válec);
- tažná síla na obvodu kol  $F_o$  – tažná síla působící na styku kola a kolejnice. Tato síla je menší než indikovaná tažná síla díky ztrátám na prvotním zdroji a přenosu výkonu.

Uurčíme ji ze vztahu:

$$F_o = F_i \cdot \eta_M \cdot \eta_{PV} \quad [\text{N}] \quad (2.1)$$

kde:

$F_i$  [N] indikovaná tažná síla

$\eta_M$  [1] účinnost prvotního zdroje výkonu

$\eta_{PV}$  [1] účinnost přenosu výkonu

- tažná síla na spřáhle  $F_s$  – tažná síla kterou působí HV na tažená vozidla v místě jejich spojení. Síla je zmenšená oproti  $F_o$  o vozidlový odpor HV  $O_L$ .

Tedy:

$$F_s = F_o - G_L \cdot o_L \quad [\text{N}] \quad (2.2)$$

$G_L$  [N] tíha hnacího vozidla

$\phi_L$  [1] součinitel odporu hnacího vozidla

### 2.2.1 Adhezní tažná síla

Tažnou sílu na obvodu kol  $F_o$  jsme schopni přenášet na kolej díky existence adheze, představující součinitel tření za relativního klidu dotykových ploch na styku kolo – kolejnice. Maximální sílu, kterou jsme schopni takto přenést, nazýváme adhezní tažnou sílu  $F_a$ , jejíž velikost závisí na kvalitě styku a svislé síle v něm působící. Určíme ji ze vztahu:

$$F_a = \mu_a \cdot G_a \cdot \varepsilon \quad [\text{N}] \quad (2.3)$$

kde:

$\mu_a$  [1] součinitel adheze, jehož hodnota se pohybuje od 0,12 do 0,34

$G_a$  [N] adhezní tíha – část tíhy vozidla, která připadá na hnací dvojkolí

$\varepsilon$  [1] součinitel využití adheze [2]

## 2.3 Odporů proti pohybu vozidla

Protože vyjádření normativů hmotnosti vychází z pohybové rovnice, která je tvořena tažnou silou HV a odporů proti pohybu vozidla, je na místě tyto odpory uvést a popsat.

Odpory proti pohybu vozidla představují skupinu sil, působící proti pohybu vozidla a zároveň nejsou silou brzdou.

Odpory dělíme na:

1. Pasivní (vnitřní) – odpory, které vyjadřujeme jako ztráty mezi primárním zdrojem výkonu a obvodem kol. Jsou jednoznačně určeny konstrukcí vozidla a nejsou závislé na vnějších vlivech provozu vozidla.
2. Aktivní (vnější) – vznikají působením vnějších sil na vozidlo. Jsou označovány jako odpory jízdní. Tyto odpory dále dělíme do tří skupin na:
  - a) odpory traťové,
  - b) odpory vozidlové,
  - c) odpor ze zrychlení.

Obecné vyjádření odporu pro trakční výpočty:

$$O = G_V \cdot o \quad [N] \quad (2.4)$$

kde:

$G_V$  [N] tíha vozidla

$o$  [1] součinitel odporu, vztažený na jednotku tíhy vozidla [2]

### 2.3.1 Traťové odpory

Traťové odpory  $O_T$  působí proti pohybu vozidla při jízdě do stoupání, v traťových obloucích a tunelech. Jsou závislé na stavebním provedení tratě a jejím stavu. Velikost odporů také ovlivňuje délka a hmotnost vlaku.

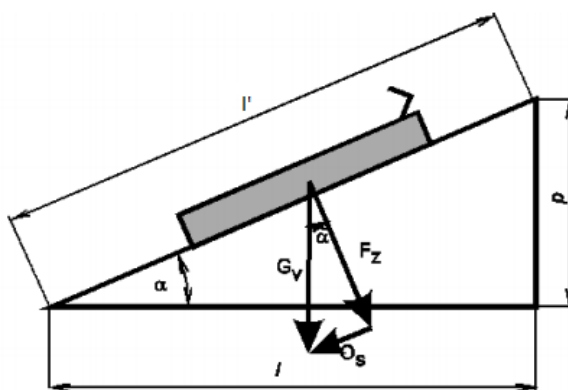
Mezi traťové odpory řadíme:

- odpor sklonu –  $O_{skl}$
- odpor oblouku –  $O_{obl}$
- odpor tunelu –  $O_{tun}$



## Odpor sklonu

Odpor sklonu je vyvolán složkou tíhy ve směru rovnoběžném s osou koleje. Při jízdě do stoupání působí síla  $O_{skl}$  proti směru pohybu, avšak při jízdě po spádu působí ve směru pohybu. Rozložení tíhy vozidla  $G_v$  jedoucího na trati svírající s vodorovnou rovinou úhel  $\alpha$  je znázorněno na obrázku (Obr. 2 1).



Obr. 2.1: Pohyb vozidla na sklonu. [2]

Odpor sklonu tedy vyjádříme jako:

$$O_{skl} = G_v \cdot \sin \alpha = m_v \cdot g \cdot \sin \alpha \quad [\text{N}] \quad (2.5)$$

kde:

$G_v$  [N] tíha vozidla

$m_v$  [kg] hmotnost vozidla

$g$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ] tíhové zrychlení [2]

„Sklon tratě se v kolejové dopravě nejčastěji udává jako změna nivelety tratě s na úseku délky 1 000 m. Velikost vyjadřujeme v (‰) a můžeme podle obrázku (Obr. 2 1) odvodit.“ [2, s.35]

$$\frac{p}{l'} = \sin \alpha = \frac{s}{1000} \quad [1] \quad (2.6)$$

Následně ze vztahu (2.6) vyjádříme s:

$$s = 1000 \cdot \sin \alpha \quad [\text{‰}] \quad (2.7)$$

kde:

$p$  [m] převýšení tratě

$l'$  [m] délka sklonového úseku

$s$  [‰] sklon tratě

Pro reálný provoz a úhly  $\alpha < 5,5^\circ$  používáme k určení délky tratě její průmět do vodorovné roviny, poté sklon  $s$  vyjádříme z rovnice:

$$\frac{p}{l} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{s}{1000} \quad [1] \quad (2.8)$$

$$s = 1000 \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad [\text{‰}] \quad (2.9)$$

kde:

$l$  [m] průmět délky sklonového úseku do vodorovné roviny

Pro vozební výpočty se používá vyjádření vztažené na jednotku tíhy vozidla – součinitel odporu tratě:

$$o_T = \frac{O_T}{G_{vl}} = \frac{G_{vl} \cdot \operatorname{tg} \alpha}{G_{vl}} = \frac{s}{1000} \quad [1] \quad (2.10)$$

kde:

$G_{vl}$  [N] tíha vlaku

$O_T$  [N] traťový odpor [2]

## Odpor oblouku

Při průjezdu vozidla obloukem působí na styku kolo – kolejnice vnější síly, které vozidlo odchyľují od přímého směru. Tyto síly vyvolávají tečné reakce a působí tak jako odpory proti pohybu.

V praxi lze odpor oblouků jen těžko analyticky vyjádřit, proto se pro vozební výpočty počítají dle empirických vzorců. Vliv oblouku nahrazujeme hodnotou přídavného sklonu  $s_p$ , který určujeme podle následujících vztahů:

- pro hlavní tratě s rozchodem  $e = 1435$  mm

$$s_{obl} = \frac{600}{R} \quad [\text{‰}] \quad (2.11)$$

- pro tratě s rozchodem  $e = 1000$  mm

$$s_{obl} = \frac{400}{R - 20} \quad [\text{‰}] \quad (2.12)$$

- pro tratě s rozchodem  $e = 750$  mm

$$s_{obl} = \frac{300}{R - 10} \quad [\text{‰}] \quad (2.13)$$

- pro tratě metra

$$s_{obl} = \frac{650}{R - 50} \quad [\text{‰}] \quad (2.14)$$

U protisměrných oblouků na sebe navazujících se  $s_{obl}$  násobí hodnotou 1,5. [2]

## Odpor tunelu

Vzniká zvýšeným odporem prostředí při průjezdu tunelem v důsledku vytlačování sloupce vzduchu a jeho vířením kolem vlaku. Přídavný odpor tunelu:

- pro jednokolejný tunel;

$$s_{tun} = 2 N \cdot kN^{-1}$$

- pro dvojkolejný tunel.

$$s_{tun} = 1 N \cdot kN^{-1} [2]$$

### Úprava profilu pro vozební výpočty

Zahrnutím všech předchozích vlivů traťového odporu (sklonu, oblouku, tunelu) vzniká **náhradní sklon (redukovaný sklon)  $s_r$** .

$$s_{ri} = \frac{\sum_i s_i \cdot l_i + \sum_k s_{obl_{ki}} \cdot l_{obl_{ki}} + \sum_q s_{tun_{qi}} \cdot l_{tun_{qi}}}{\sum_i l_i} \quad [\text{‰}] \quad (2.15)$$

kde:

$s_{ri}$	[‰]	náhradní sklon $i$ -tého úseku tratě
$l_i$	[m]	délka $i$ -tého sklonového úseku tratě
$s_i$	[‰]	$i$ -tý sklonový úsek tratě
$s_{obl_{ki}}$	[‰]	vliv $k$ -tého oblouku na $i$ -tém sklonu
$l_{obl_{ki}}$	[m]	délka $k$ -tého oblouku na $i$ -tém sklonu
$s_{tun_{qi}}$	[N·kN <sup>-1</sup> ]	vliv $q$ -tého tunelu na $i$ -tém sklonu
$l_{tun_{qi}}$	[m]	délka $q$ -tého tunelu na $i$ -tém sklonu

## Rozhodné stoupání

Za rozhodné stoupání považujeme nejvyšší kladnou hodnotu redukovaného sklonu na úseku sledované délky tratě.

Vypočteme jej:

- pro dva traťové úseky;

$$s_{rki} = \frac{s_{ri} \cdot l_i + s_{ri+1} \cdot (l_{rk} - l_i)}{l_{rk}} \quad [\text{‰}] \quad (2.16)$$

kde:

$s_{rki}$  [‰] rozhodné stoupání  $i$ -tého sledovaného úseku

$l_{rk}$  [m] rozhodná délka, jejíž délka je 1000 m

$s_{ri}$  [‰] hodnota  $i$ -tého redukovaného sklonu

$l_i$  [‰] délka  $i$ -tého redukovaného sklonu tratě

- pro tři traťové úseky.

$$s_{rki} = \frac{s_{ri} \cdot l_i + s_{ri+1} \cdot l_{i+1} + s_{ri+2} \cdot (l_{rk} - l_i - l_{i+1})}{l_{rk}} \quad [\text{‰}] \quad (2.17)$$

kde:

$s_{rki}$  [‰] rozhodné stoupání  $i$ -tého sledovaného úseku

$l_{rk}$  [m] rozhodná délka, jejíž délka je 1000 m

$s_{ri}$  [‰] hodnota  $i$ -tého redukovaného sklonu

$l_i$  [m] délka  $i$ -tého redukovaného sklonu tratě

Pokud  $l_i > l_{rk} \Rightarrow s_{rki} = s_{ri}$

Rozhodné stoupání počítáme pro oba směry tratě. [2]

## Rozhodný spád

Značíme jej  $s_{rz}$  a postup určení je stejný jako pro rozhodné stoupání, liší se jen ve dvou věcech:

1. Hodnotu  $s_{rz}$  počítáme ze sklonu tratě  $s_i$ .
2. Velikost rozhodné délky  $l_{rk}$  závisí na velikosti zábrzdné vzdálenosti  $l_z$ . [2]
  - pro traťovou rychlost  $V_T \leq 60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  je  $l_z = 400 \text{ m}$
  - pro traťovou rychlost  $V_T \in (60; 100) \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  je  $l_z = 700 \text{ m}$
  - pro traťovou rychlost  $V_T \in (100; 160) \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  je  $l_z = 1000 \text{ m}$  [3]

### 2.3.2 Vozidlové odpory

Hodnotu těchto odporů ovlivňuje mnoho faktorů. Empirickým zkoumáním bylo zjištěno, že hodnota vozidlových odporů závisí na rychlosti vozidla. Obecně lze tyto odpory v silové podobě vyjádřit takto:

$$O_V = O_f + O_l + O_{vz} \quad [\text{N}] \quad (2.18)$$

kde jednotlivé složky jsou:

$O_f$  [N] odpor valení kola po kolejnici

$O_l$  [N] odpor čepového tření v ložiscích

$O_{vz}$  [N] odpor prostředí

Pro vozební výpočty se využívá empirický vztah součinitele vozidlového odporu:

$$o_V = a + b \cdot V + c \cdot V^2 \quad [1] \quad (2.19)$$

kde:

$a$  [1] vliv odporu valení nezávislý na rychlosti

$b$  [1] vliv ložiskového odporu závislý na rychlosti

$c$  [1] vliv odporu prostředí závislý na kvadrátu rychlosti

$V$  [km·h<sup>-1</sup>] okamžitá rychlost [2]

Tab. 2.1: Vztahy pro výpočet vozidlového odporu jednotlivých druhů tažených vozidel dle předpisu V7 (Trakční výpočty). [6]

Typ jízdního odporu	Druh vozů	Průměrná hmotnost na 1 vozovou nápravu vlaku [t]	Matematické vyjádření měrného vozidlového odporu [N·t <sup>-1</sup> ]	Rozsah platnosti [km·h <sup>-1</sup> ]
R	4nápravové osobní	8 – 15	$w_R = 13,5 + \frac{8 \cdot V}{100} + \frac{V^2}{300}$	0 – 150
S	2nápravové osobní nebo 2nápravové nákladní	10 – 15	$w_S = 19 + \frac{V^2}{215}$	0 – 100
M <sub>4</sub>	Balm-k 18,5 m	–	$w_{M4} = 18 + \frac{V}{10} + \frac{V^2}{210}$	0 – 100
M <sub>2</sub>	2nápravové přípojně	–	$w_{M2} = 15 + \frac{V^2}{115}$	0 – 80
T <sub>2</sub>	2nápravové nákladní	15,1 – 20	$w_{T2} = 17 + \frac{3 \cdot V}{100} + \frac{V^2}{555}$	0 – 100
T <sub>4</sub>	4nápravové nákladní	15,1 – 20	$w_{T4} = 13 + \frac{V^2}{300}$	0 – 100
U <sub>2</sub>	2nápravové nákladní	5,0 – 9,9	$w_{U2} = 20 + \frac{V^2}{80}$	0 – 100
U <sub>4</sub>	4nápravové nákladní	5,0 – 9,9	$w_{U4} = 20 + \frac{V^2}{125}$	0 – 100

### 2.3.3 Odpor ze zrychlení

Tento odpor vzniká při změně rychlosti vozidla a skládá se ze dvou složek:

- odpor ze zrychlení posuvných hmot;
- odpor ze zrychlení rotujících hmot.

## Odpor ze zrychlení posuvných hmot

$$O_{pos} = m_V \cdot a = \frac{G_V \cdot a}{g} \quad [\text{N}] \quad (2.20)$$

## Odpor ze zrychlení rotujících hmot

Určité části vozidel konají při pohybu posuvném zároveň pohyb rotační (trakční motory, dvojkolí, převodovky). Takové prvky vozidel charakterizujeme rotační hmotou  $m_r$ . Pro stanovení jejich vlivu na pohyb vlaku musíme tuto hmotu vztáhnout na poloměr dvojkolí  $r$ .

Z rovnováhy sil a momentů platí:

$$O_{rot} \cdot r = M_{s\ dv} \quad [\text{Nm}] \quad (2.21)$$

Pro setrvačný moment  $M_{s\ dv}$  platí:

$$M_{s\ dv} = I_{dv} \cdot \varepsilon \quad [\text{Nm}] \quad (2.22)$$

Vyjádření úhlového zrychlení  $\varepsilon$  pomocí posuvného zrychlení a poloměru dvojkolí:

$$\varepsilon = \frac{a_p}{r} \quad [\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (2.23)$$

Pak pro odpor rotujících hmot platí:

$$O_{rot} = \frac{M_{s\ dv}}{r} = \frac{I_{dv} \cdot \varepsilon}{r} = \frac{I_{dv} \cdot a_p}{r^2} \quad [\text{N}] \quad (2.24)$$

## Odpor ze zrychlení

$$O_{zr} = O_{pos} + O_{rot} \quad [\text{N}] \quad (2.25)$$



Po dosazení odporu ze zrychlení posuvných a rotačních hmot dostáváme vztah:

$$O_{zr} = \frac{G_V}{g} \cdot a_p + \frac{I_{dv} \cdot a}{r^2} = \frac{G_V}{g} \cdot a_p \cdot \left(1 + \frac{I_{dv} \cdot g}{r^2 \cdot G_V}\right) \quad [\text{N}] \quad (2.26)$$

Zlomek v závorce vyjadřuje hodnotu vlivu rotujících hmot vozidla na odpor ze zrychlení a označujeme jej jako součinitel rotujících hmot  $\rho$ . Hodnota zmiňovaného součinitele je různá v závislosti na skupině tažených vozidel a druhu HV. [2]

$$O_{zr} = \frac{G_V}{g} \cdot a_p \cdot (1 + \rho) \quad [\text{N}] \quad (2.27)$$

Součinitel odporu ze zrychlení je pak stanoven jako:

$$o_{zr} = \frac{O_{zr}}{G_V} = \frac{a_p}{g} \cdot (1 + \rho) \quad [1] \quad (2.28)$$

## 2.4 Pohybová rovnice kolejových vozidel

Protože vztahy pro stanovení normativu hmotnosti vychází z pohybové rovnice kolejových vozidel, je na místě tuto rovnici uvést a analyzovat. Základní pohybová rovnice kolejových vozidel vychází z druhého Newtonova zákona (Zákon síly).

Zjednodušeně můžeme říci, že tažná síla na obvodu kol HV je rovna sumě odporů proti pohybu vlaku.

$$F_O = \sum O \quad [\text{N}] \quad (2.29)$$

Podle vztahu (2.29) pak můžeme rozepsat:

$$F_O = O_{Vl} + O_T + O_Z \quad [\text{N}] \quad (2.30)$$

kde  $O_{Vl}$  je vozidlový odpor celého vlaku. Ten lze rozepsat jako vozidlový odpor hnacího vozidla  $O_L$  a vozidlový odpor tažených vozidel  $O_D$ . Tudíž lze rovnici (2.30) rozepsat:

$$F_O = O_L + O_D + O_T + O_Z \quad [\text{N}] \quad (2.31)$$

Jestliže budeme předpokládat, že obecné stanovení odporů proti pohybu vozidla vyjadřujeme vztahem (2.4), poté lze vztah (2.31) rozepsat do tvaru:

$$F_O = G_L \cdot o_L + G_D \cdot o_D + (G_L + G_D) \cdot o_T + (G_L + G_D) \cdot o_{zr} \quad [\text{N}] \quad (2.32)$$

S ohledem na 2. Newtonův zákon bývá zvykem psát na pravou stranu rovnice odpor ze zrychlení a tažnou sílu na obvodu kol se zbylými odpory psát vlevo. Takže dostaneme vztah:

$$F_O - G_L \cdot o_L - G_D \cdot o_D - (G_L + G_D) \cdot o_T = (G_L + G_D) \cdot \frac{1 + \rho}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad [\text{N}] \quad (2.33)$$

kde:

$F_O$	[N]	tažná síla hnacího vozidla na obvodu kol
$G_L$	[N]	tíha hnacího vozidla
$G_D$	[N]	tíha tažených vozidel
$o_L$	[1]	součinitel vozidlového odporu hnacího vozidla
$o_D$	[1]	součinitel vozidlového odporu tažených vozidel
$o_T$	[1]	součinitel odporu trati
$v$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	rychlost vlaku
$t$	[s]	čas
$\rho$	[1]	součinitel poměru rotujících hmot
$g$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	tíhové zrychlení

Základní pohybová rovnice v tíhovém přístupu:

$$F_O - G_L \cdot w_L - G_D \cdot w_D - (G_L + G_D) \cdot s = 1000 \cdot (G_L + G_D) \cdot \frac{1 + \rho}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad [\text{N}] \quad (2.34)$$

kde:

$F_O$	[N]	tažná síla HV na obvodu kol
$G_L$	[kN]	tíha HV
$G_D$	[kN]	tíha tažených vozidel

$w_L$	$[\text{N} \cdot \text{kN}^{-1}]$	součinitel vozidlového odporu HV
$w_D$	$[\text{N} \cdot \text{kN}^{-1}]$	součinitel vozidlového odporu tažených vozidel
$s$	$[\text{‰}]$	sklon tratě
$v$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	rychlost vlaku
$t$	$[\text{s}]$	čas

Základní pohybová rovnice v hmotnostním přístupu:

$$F_O - M_L \cdot w'_L - M_D \cdot w'_D - (M_L + M_D) \cdot 10 \cdot s = 10000 \cdot (M_L + M_D) \cdot \frac{1 + \rho}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad [\text{N}] \quad (2.35)$$

kde:

$F_O$	$[\text{N}]$	tažná síla HV na obvodu kol
$M_L$	$[\text{t}]$	tíha HV
$M_D$	$[\text{t}]$	tíha tažených vozidel
$w'_L$	$[\text{N} \cdot \text{t}^{-1}]$	součinitel vozidlového odporu HV
$w'_D$	$[\text{N} \cdot \text{t}^{-1}]$	součinitel vozidlového odporu tažených vozidel
$s$	$[\text{‰}]$	sklon tratě
$v$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	rychlost vlaku
$t$	$[\text{s}]$	čas [2]

### 3 Návrh postupu výpočtu normativu hmotnosti vlaku

Normativ hmotnosti představuje jednu ze základních složek popisující sestavu tažených vozidel. Jeho posouzení patří mezi důležité a časté úkony provozních pracovníků dráhy. Nepříjemným důsledkem při překročení zátěže, kterou konkrétní HV může pro daný úsek tratě dopravit, je uvážnutí vlaku ve stoupání a snižování propustnosti tratě.

### 3.2 Vztahy pro určení normativu hmotnosti

Vztahy uvedené v třetí kapitole budou vycházet ze základní pohybové rovnice vlaku. Tyto vztahy jsou definovány ve skriptech *Mechanika v dopravě I*. Po porovnání těchto vztahů s předpisem *V7 (Trakční výpočty)*, které jsou uvedeny v hmotnostním přístupu, autor dospěl k závěru, že ve své práci z tohoto předpisu uvede pro porovnání jen vztah pro určení náběhového technického normativu hmotnosti. Vztah v tomto předpisu na rozdíl od skript zanedbává součinitele rotujících hmot  $\rho$  a je tedy nepřesnější.

#### Analytické stanovení technického normativu

Výpočet vychází ze základní rovnice pohybu vlaku, pro kterou jsme tíhu vlaku rozepsali na tíhy HV a dopravovaných vozidel. Stanovení technického normativu hmotnosti realizujeme za předpokladu  $V = konst.$  Rovnice má tedy tvar [2]:

$$G_D = \frac{F_O - G_L \cdot o_L - G_L \cdot o_T}{o_D + o_T} \quad [\text{N}] \quad (3.1)$$

Pro technický normativ  $M_T [\text{t}]$  můžeme stanovit:

$$M_T = M_D = \frac{G_D}{g} \cdot 10^{-3} \quad [\text{t}] \quad (3.2)$$

$$M_T = \frac{F_O - G_L \cdot o_L - G_L \cdot o_T}{(o_D + o_T) \cdot g} \cdot 10^{-3} \quad [\text{t}] \quad (3.4)$$

## Rozjezdový normativ hmotnosti

„Normativ dopravní hmotnosti pro danou řadu HV, platný při rozjezdu vlaku v určitém úseku nebo místě.“ [2, s. 63] Stanovení tohoto normativu vychází taktéž ze základní rovnice pohybu vlaku upravené pro stanovení normativu hmotnosti ( $V = konst.$ ).

$$M_R = \frac{F_{sR} - G_L \cdot o_t}{o_D + o_T + o_R} \cdot \frac{10^{-3}}{g} \quad [t] \quad (3.5)$$

kde:

$F_{sR}$  [N] tažná síla na spřáhle pro rozjezd. U vozidel nezávislé vozby a vozidel závislé vozby s plynulou regulací se tato síla volí jako adhezní tažná síla při maximálním výkonu vozidla. U vozidel nezávislé vozby se stupňovou odporovou regulací se použije tažná síla na mezi adheze na prvním hospodárném stupni.

$o_R$  [1] součinitel rozjezdového odporu, podle literatury je jeho hodnota  $o_R = 1,5 \cdot 10^{-3}$  [2]

## Průjezdový normativ hmotnosti

„Normativ dopravní hmotnosti vlaku pro danou řadu HV, platný pro průjezd daným úsekem nebo místem bez zastavení nebo bez omezení rychlosti pod stanovenou hodnotu.“ [2, s. 63] Výpočet vychází z rovnice pohybu vlaku.

$$M_P = \frac{F_{sP} - G_L \cdot o_t}{o_D + o_T} \cdot \frac{10^{-3}}{g} \quad [t] \quad (3.6)$$

kde:

$F_{sP}$  [N] tažná síla na spřáhle pro požadovanou rychlost.

Rychlost  $V_P$  pro stanovení  $F_{sP}$  je stanovena následovně:

- $V_P$  je větší než trvalá rychlost na nejvyšším výkonovém stupni, minimálně však  $V_P = 20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  na hlavních tratích a  $V_P = 15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  na vedlejších tratích. [2]

### Náběhový technický normativ hmotnosti

„Představuje přípustnou dopravní hmotnost pro jízdu vlaku na strmém krátkém stoupání, které je zdoláváno náběhem.“ [2, s. 63] Při stanovení tohoto normativu vycházíme ze základní pohybové rovnice vlaku, která je doplněna o složky charakterizující využití vlastní kinetické energie vlaku.

$$M_N = \frac{10^{-3}}{g} \cdot \frac{F_{sN} - G_L \cdot \left( o_T - \frac{1 + \rho}{g} \cdot \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot 3,6^2} \cdot \frac{1}{l_n} \right)}{\bar{o}_D + o_T + \frac{1 + \rho}{g} \cdot \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot 3,6^2} \cdot \frac{1}{l_n}} \quad [\text{t}] \quad (3.7)$$

kde:

$F_{sN}$  [N] střední hodnota tažné síly v uvažovaném rozsahu rychlosti

$l_n$  [m] délka náběhového úseku

$\bar{o}_D$  [1] střední hodnota vozidlového odporu v uvažovaném rozsahu rychlosti

$V_2$  [ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ] rychlost na začátku náběhového stoupání

$V_I$  [km·h<sup>-1</sup>] rychlost na konci náběhového stoupání [2]

### Náběhový technický normativ hmotnosti podle předpisu V7

$$M_N = \frac{F_{sN} - 9,81 \cdot s \cdot M_L}{w_{stř} + 9,81 \cdot s \cdot \frac{41,7}{l_n} (V_2^2 - V_1^2)} \quad [\text{t}] \quad (3.8)$$

$F_{sN}$  [N] střední hodnota tažné síly v uvažovaném rozsahu rychlosti

$M_L$  [t] hmotnost lokomotivy

$w_{stř}$  [N·t<sup>-1</sup>] střední měrný vozidlový odpor vlaku [6]

Hodnotu normativu hmotnosti vlaku stanovíme jako minimální hodnotu z dříve popsaných normativů.

$$M_D = \min(M_T, M_R, M_P, M_N) [2]$$

### 3.3 Grafické metody stanovení normativu hmotnosti

Vedle analytických metod určení normativu hmotnosti existují i metody určující normativ hmotnosti na základě grafických zákonitostí. V této práci si uvedeme dvě grafické metody, a to:

- Korefův nomogram
- Mrkvičkův nomogram

### 3.3.1 Korefův (průsečíkový) nomogram

Při konstrukci průsečíkového nomogramu předpokládáme konstantní rychlost vlaku. Pro konstrukci tedy využijeme základní rovnici pohybu vlaku ve tvaru:

$$F_S - G_D \cdot o_D - (G_L + G_D) \cdot o_T = 0 \quad [\text{N}] \quad (3.9)$$

$$F_S = F_o - G_L \cdot o_L \quad [\text{N}] \quad (3.10)$$

Pro stanovenou konstantní rychlost  $V$  je velikost tažné síly na spřáhle  $F_s$  pro stanovené HV daná tvarem trakční charakteristiky. Součinitel vozidlového odporu tažených vozidel  $o_D$  lze stanovit pomocí empiricky stanovených vzorců pro stanovenou rychlost  $V$ . Sklon tratě  $s$  je dán parametry tratě. Rovnici (3.9) lze upravit:

$$F_S - G_D \cdot o_D = (G_L + G_D) \cdot o_T \quad [\text{N}] \quad (3.11)$$

V rovnici (3.11) si můžeme všimnout, že levá strana rovnice je lineárně závislá na hodnotě vozidlového odporu tažených vozidel  $o_D$  a pravá strana rovnice je lineárně závislá na sklonu tratě  $s$ . Rovnici můžeme přepsat do tvaru:

$$y_1 = F_S - G_D \cdot o_D \quad (3.12)$$

$$y_2 = (G_L + G_D) \cdot o_T \quad (3.13)$$

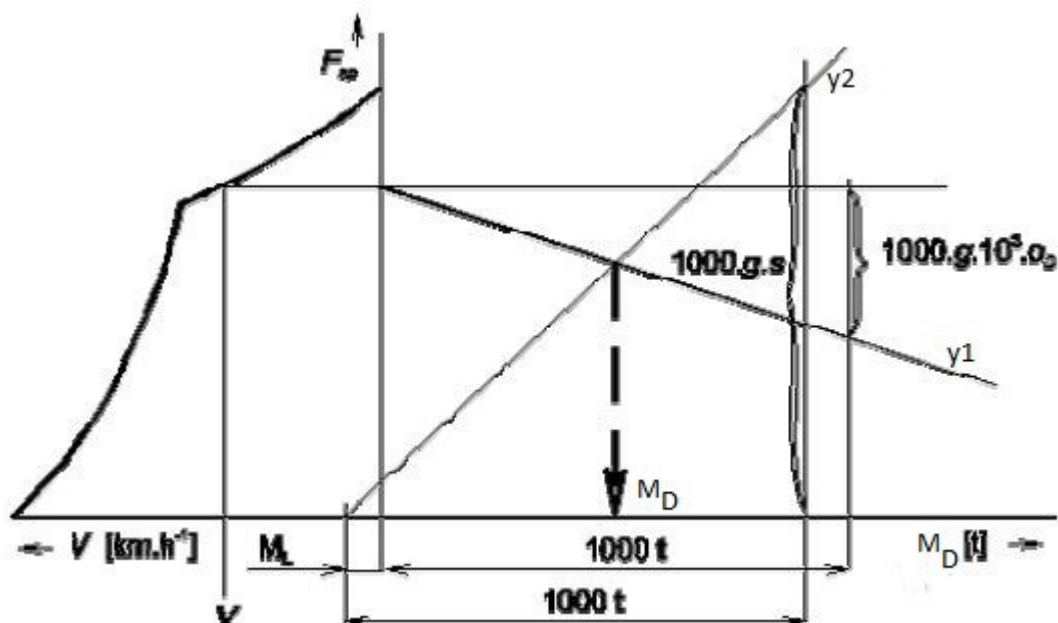
Vztahy upravíme pro určení dopravní hmotnosti  $M_D$  v tunách. Tedy:

$$y_1 = F_S - M_D \cdot g \cdot o_D \cdot 10^3 \quad (3.14)$$

$$y_2 = (M_L + M_D) \cdot g \cdot 10^3 \cdot s \cdot 10^{-3} \quad (3.15)$$

Při stanovení průsečíku  $y_1$  a  $y_2$  a vynesení této souřadnice na osu  $x$  představující osu dopravní hmotnosti, dostáváme hledanou dopravní hmotnost  $M_D$ , kterou je možno stanoveným HV po stanoveném sklonu tratě, stanovenou rychlostí vlaku přepravit.





Obr. 3.1: Princip konstrukce Korefova nomogramu. [2]

V souřadnicovém systému  $(F_s, M_D)$  sestojíme přímku  $y_1$  pomocí dvou bodů. První bod při  $M_D = 0 \text{ t}$  a  $F_s = \max(F_s)$ , druhý bod při  $M_D = 1000 \text{ t}$  a  $F_s = \max(F_s) - 1000 \cdot g \cdot 10^3 \cdot o_D$ . První bod přímky  $y_2$  sestojíme za předpokladu, že  $M_D = -M_L$  a  $F_s = 0 \text{ N}$  a druhý bod této přímky při  $M_D = M_L + M_D = 1000 \text{ t}$  a  $F_s = 1000 \cdot g \cdot s$ . [1, 2]

### 3.3.2 Mrkvičkův (spojnicový) nomogram

Mrkvičkův nomogram odstraňuje nedostatky Korefova nomogramu, protože se vyhotovuje pro úplnou trakční charakteristiku HV a zahrnuje všechny typy vozidlových odporů.



### 3.4 Tabulky technického normativu hmotnosti (zátěžové tabulky)

Tabelárním vyjádřením Korefova nebo Mrkvičkova nomogramu, popřípadě analytického určení technického normativu hmotnosti jsou tabulky technického normativu hmotnosti v praxi známé jako zátěžové tabulky. Tyto tabulky jsou k dohledání v prvním doplňku k předpisu D2. Tabulky vyjadřují pro konkrétní řadu HV a konkrétní typ vozidlového odporu tažených vozidel vztah mezi dopravní hmotností, rychlostí vlaku a setrvačným sklonem. Hodnota setrvačného sklonu je v tabulkách vyjádřena takzvanou třídou sklonu. Vztah pro určení třídy sklonu je následující.

$$\text{třída sklonu} = \frac{s_0 + 2}{2} \quad (3.16)$$

Popisovaný vztah nám pomáhá zařadit setrvačný sklon do třídy sklonu. Například pokud máme třídu sklonu II, znamená to, že setrvačný sklon nabývá hodnoty 2 ‰.

Na průsečíku jednotlivých sloupců a řádků je hodnota setrvačné rychlosti vlaku. [1, 2]

Tab. 3.1: Ukázka tabulky technického normativu hmotnosti pro HV řady 140, 141 a typ vozidlového odporu T. [5]

Řada: 140, 141		Typ jízdního odporu: T																Hodinová rychlost: 57 km/h					
Třída sklonu	Hmotnost tažených vozidel (t)																						
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400						
I							118	114	111	108	103	99	95	92	89	86	83						
II					118	112	108	104	100	97	91	86	82	78	71	67	63						
III				116	109	104	99	95	91	87	80	72	65	60	56	55	54						
IV			118	109	102	96	91	86	82	76	68	59	56	54									
V			112	103	95	89	84	78	70	64	56	54											
VI		118	106	97	89	83	74	68	60	56													
VII		113	101	91	84	73	65	58	56														
VIII		109	96	87	76	66	58	55															
IX		105	92	81	68	59	55																
X	119	101	88	74	62	56																	
XI	116	97	84	68	57																		
XII	112	94	79	63	56																		
XIII	109	90	73	59	55																		
XIV	107	87	68	56																			
XV	104	85	64	55																			
XVI	101	81	60	54																			

### 3.5 Zvolené metody pro provozní a učební pomůcky

K vyhotovení provozních pomůcek **A** a **B** byla zvolena pro určení normativu hmotnosti metoda početního stanovení normativu hmotnosti. Tedy  $M_D = \min(M_R, M_P, M_N)$ . Tato metoda byla zvolena proto, že pro nás (provozní pracovníky dráhy a strojvedoucí) je rozhodující jeden údaj (číslo), charakterizující normativ hmotnosti přípustný pro daný úsek tratě, namísto názorného grafického výstupu v podobě Korefova nebo Mrkvičkova nomogramu.

Pro zpracování učební pomůcky určené pro výuku strojvedoucích, byla zvolena grafická metoda určení normativu hmotnosti a to v podobě Korefova nomogramu. Zmiňovaný nomogram je přehlednější než Mrkvičkův nomogram, a lze z něj dokonale pochopit vliv traťových poměrů a parametrů vozidla na velikost dopravní hmotnosti.

## 4 Návrh provozních pomůcek pro stanovení normativu hmotnosti

Tato kapitola se zabývá návrhem a popisem vytvořených provozních pomůcek. Provozní pomůcky budou navrženy a zhotoveny v prostředí SW Microsoft Excel 2010 díky jeho dostupnosti a interoperabilitě jednotlivých vytvořených pomůcek na ostatních datových zařízeních.

### 4.1 Siemens Vectron MS řady X4

Protože provozní pomůcky vyhotovené v této práci jsou určeny pro stanovení normativu hmotnosti HV Siemens Vectron, které je moderní vícesystémové HV určeno pro provoz na evropských železničních sítích AC i DC, je zde uvedena stručná technická charakteristika daného HV.

Tab. 4.1: Základní technické parametry HV Siemens Vectron MS řady X4. [7]

Parametr	Hodnota
délka	18 980 m
šířka	3 012 m
napájecí systémy	AC 25 Kv, 50 Hz; AC 15 kV, 16,67 Hz; DC 3 kV; DC 1,5 kV
nejvyšší trakční výkon	6,4 MW
tažná síla při rozjezdu	300 kN
uspořádání pojezdu	Bo'Bo'
nejvyšší provozní rychlost	160 km·h <sup>-1</sup>
hmotnost	cca 89 t

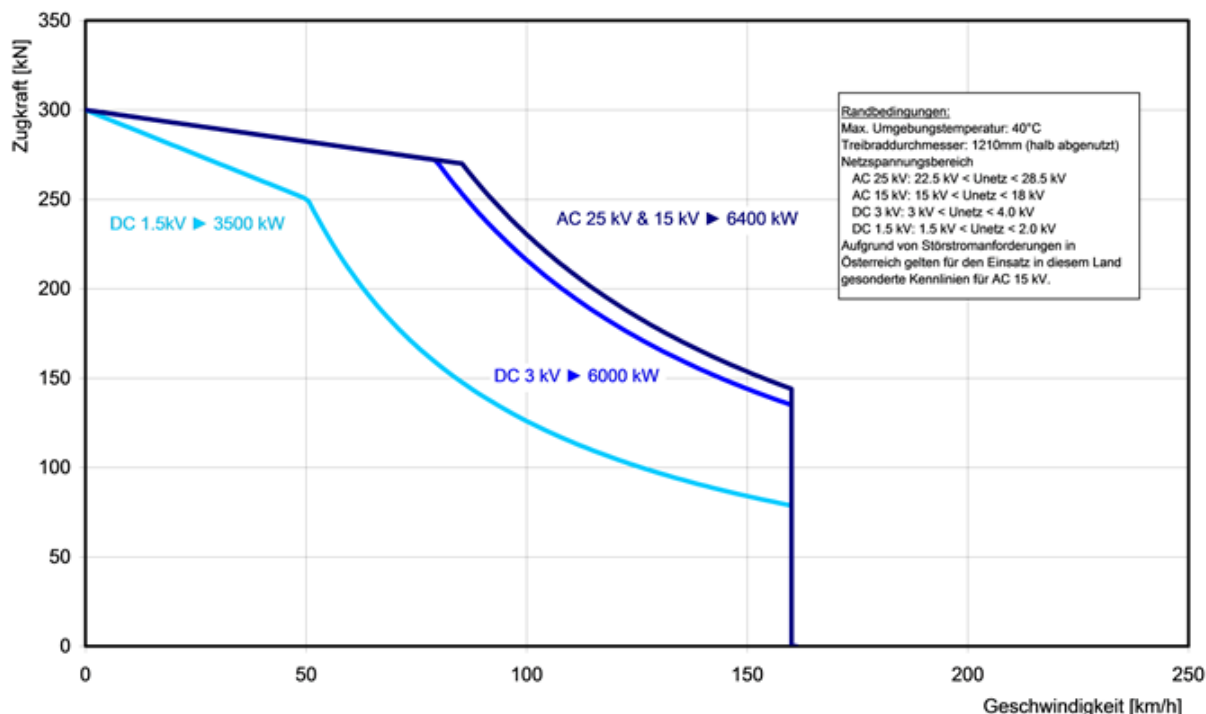


Obr. 4.1: HV Siemens Vectron MS řady X4. [8]

### Trakční charakteristika lokomotivy Siemens Vectron MS řady X4

Klíčovým dokumentem k dalšímu posunu v práci bylo získání trakční charakteristiky tohoto HV s plynulou regulací výkonu. Jak můžeme vidět na obrázku (Obr. 4.2). Provozní pomůcka bude zpracována pro tři, respektive čtyři (AC 15 kV, 16,67 Hz) napájecí systémy. Pokud prohlásíme, že osa  $y$  představuje tažnou sílu na spřáhle HV  $F_s$  [kN] a osa  $x$  představuje

rychlost HV  $V$  [ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ], pak můžeme konstatovat, že maximální tažná síla na spráhle při rozjezdu HV je 300 kN, přičemž vozidlo je schopno vyvinout maximální rychlost až  $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

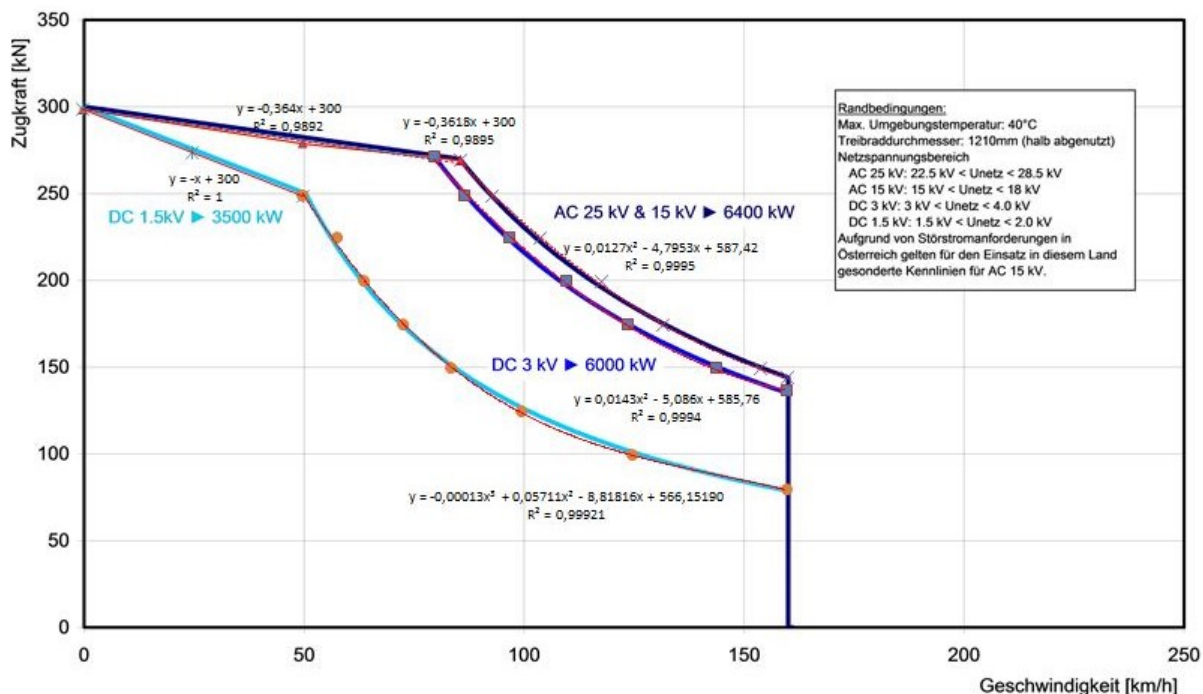


Obr. 4.2: Trakční charakteristika lokomotivy Siemens Vectron. [9]

## 4.2 Analýza trakční charakteristiky pro provozní a učební pomůcky

Po obdržení dokumentu obsahujícího trakční charakteristiku HV, je zapotřebí matematicky vyjádřit závislost tažné síly na rychlosti vozidla. Po vyhledání a stanovení několika bodů z dané trakční charakteristiky pomocí průsečíku dvou přímek byla k tomuto úkonu použita vestavěná funkce SW Microsoft Excel 2010, a to: *Přidat spojnicí trendu*. U všech napájecích systémů byl k matematickému popsání křivek adhezni tažné síly zvolen polynomy 1. stupně. Jak lze vidět z hodnoty spolehlivosti  $R$ , která by neměla klesnout pod hodnotu 0,9, jsou aproximace tímto polynomem naprosto dostačující. K aproximacím křivek plného výkonu byly použity polynomy 2. (AC 25 kV a 15 kV; DC 3 kV) a 3. stupně

(DC 1,5 kV), tak aby vzniklé polynomy co nejvíce odpovídaly tvaru vzorové trakční charakteristiky.



Obr. 4.3: Aproximace trakční charakteristiky HV polynomem  $n$ -tého stupně. [9, upraveno]

Volba jednotlivých bodů pomocí průsečíků dvou přímek na křivkách vzorové trakční charakteristiky, kde žluté buňky charakterizují tažnou sílu při kritické rychlosti u jednotlivých napájecích systémů:

Tab. 4.2: Zvolené body trakční charakteristiky napájecího systému DC 3 kV.

DC 3kV	Fs [kN]	V [km/h]
bod 1	300	0
bod 2	280	50
bod 3	272	80
bod 4	250	87
bod 5	225	97
bod 6	200	110
bod 7	175	124

bod 8	150	144
bod 9	137	160

Rovnice popisující průběh tažné síly od 0 km.h<sup>-1</sup> do kritické rychlosti včetně, má tvar:

$$y = -0,364 \cdot x + 300 \text{ a hodnotu spolehlivosti této aproximace } R=0,9892.$$

Rovnice popisující průběh tažné síly od kritické rychlosti po maximální rychlost vozidla má tvar:

$$y = 0,0143 \cdot x^2 - 5,086 \cdot x + 585,76 \text{ a hodnotu spolehlivosti této aproximace } R=0,9994.$$

Tab. 4.3: Zvolené body trakční charakteristiky napájecího systému AC 3 kV a 15kV.

AC 25kV a 15 kV	Fs [kN]	V [km·h <sup>-1</sup> ]
bod 1	300	0
bod 2	280	50
bod 3	270	86
bod 4	250	93
bod 5	225	104
bod 6	200	118
bod 7	175	132
bod 8	150	154
bod 9	145	160

Rovnice popisující průběh tažné síly od 0 km·h<sup>-1</sup> do kritické rychlosti včetně, má tvar:

$$y = -0,3618 \cdot x + 300 \text{ a hodnotu spolehlivosti této aproximace } R=0,9895.$$

Rovnice popisující průběh tažné síly od kritické rychlosti po maximální rychlost vozidla má tvar:

$$y = 0,0127 \cdot x^2 - 4,7953 \cdot x + 587,42 \text{ a hodnotu spolehlivosti této aproximace } R=0,9995.$$



Tab. 4.4: Zvolené body trakční charakteristiky napájecího systému DC 1,5kV.

DC 1,5 kV	F <sub>s</sub> [kN]	V [km·h <sup>-1</sup> ]
bod 1	300	0
bod 2	275	25
bod 3	250	50
bod 4	225	58
bod 5	200	64
bod 6	175	73
bod 7	150	84
bod 8	125	100
bod 9	100	125
bod 10	80	160

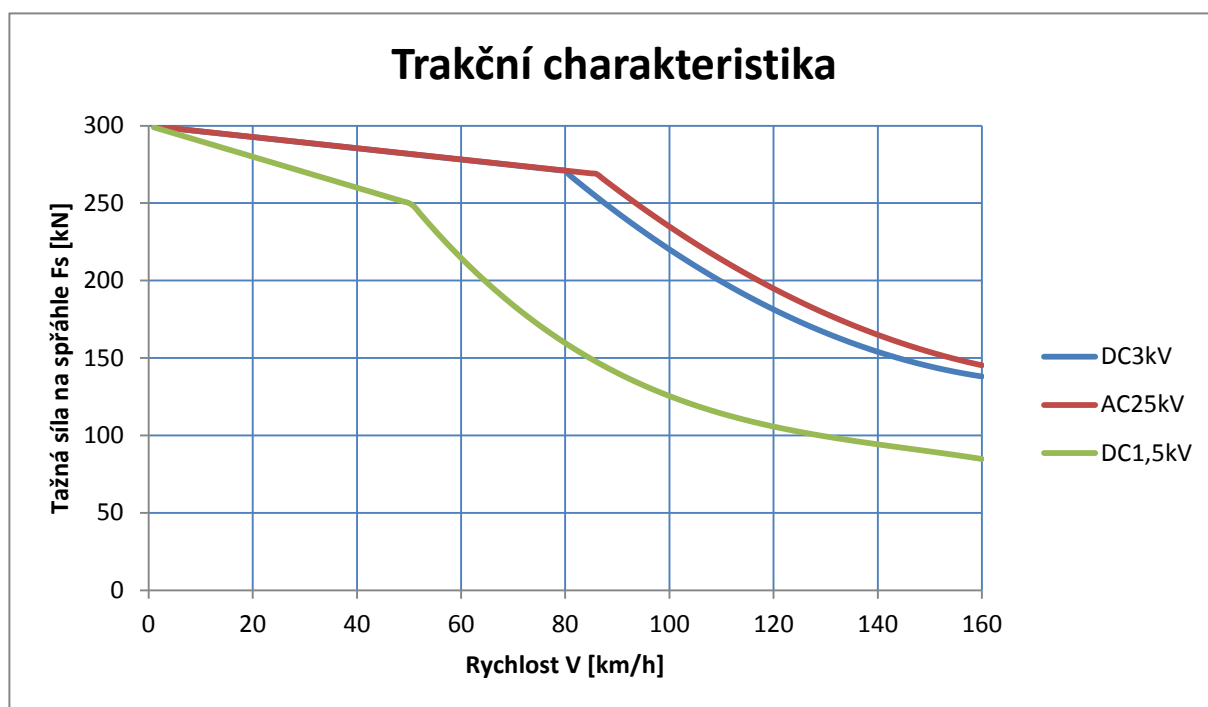
Rovnice popisující průběh tažné síly od 0 km·h<sup>-1</sup> do kritické rychlosti včetně, má tvar:

$$y = -x + 300 \text{ a hodnotu spolehlivosti této aproximace } R=1.$$

Rovnice popisující průběh tažné síly od kritické rychlosti po maximální rychlost vozidla má tvar:

$$y = -0,00013x^3 + 0,05711x^2 - 8,81816x + 566,15190 \text{ a hodnotu spolehlivosti této aproximace } R=0,99921.$$

V konečné fázi bylo provedeno kontrolní vykreslení trakční charakteristiky podle rovnic definovaných v předchozích odstavcích v rozsahu rychlosti od 0 km·h<sup>-1</sup> do 160 km·h<sup>-1</sup> včetně.



Obr. 4.4: Vyhotovení trakční charakteristika – ověření.

### 4.3 Provozní pomůcka A

Tato provozní pomůcka je určena stejně jako provozní pomůcka **B**, strojvedoucím pro kontrolu dopravní hmotnosti, popřípadě provozním pracovníkům k určení dopravní hmotnosti. Při jejím návrhu byla brána zřetel především na přehlednost a intuitivnost ovládání. Omezující podmínkou při vytváření této pomůcky byl fakt, že chceme, aby byla dostupná chytrým telefonům, kdy ne všechny podporují soubory s příponou *.xism*. Pokud chytrý telefon disponuje operačním systémem Android, je možno doplňkové aplikace jako například OfficeSuite nebo WPS Office pro otevírání souborů s příponou *.xlsx* stáhnout v internetovém obchodu operačního systému Android.

Při otevření souboru provozní pomůcky **A** se uživateli zobrazí tabulka znázorněná na obrázku (Obr. 4.5). Pomůcka se skládá ze tří oblastí. V horní oblasti jsou šedou výplní vyznačeny buňky obsahující výběrové roletky. Střední oblast, do které uživatel zadává konkrétní hodnotu, jsou vyznačeny světle modrou výplní. Dolní oblast znázorňující výstupy (hodnoty normativů) se stanoveným nejnižším normativem v buňce se žlutou výplní. Veškeré

buňky, které jsou určeny pro výběr nebo vpis konkrétní hodnoty nebo buňky, zobrazující hodnotu výstupu, jsou doplněny o krátký komentář, který charakterizuje danou buňku.

DC 3 kV		U2
	nominální napětí	
V [km/h]		$\Delta V$ [km/h]
30	$s_{rk}$ [‰]	0
Adheze [1]	4	$M_L$ [t]
1		85
$M_R$ [t]	$M_P$ [t]	$M_N$ [t]
1759	4088	4088
	$M_D$ [t]	
	1759	

Obr. 4.5: Vzhled provozní pomůcky A.

#### 4.3.1 Rozbor jednotlivých oblastí

V následující části jsou popsány jednotlivé oblasti vstupu a výstupu.

##### Vstupní oblast:

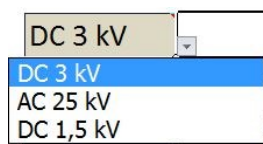
##### Výběr trakce

Tato buňka umožňuje volbu mezi jednotlivými napájecími systémy trakčního napájení.

Po navedení šipky na buňku se zobrazí komentář (Obr. 4.6), který uživatele vyzve k výběru trakčního napájení, následným kliknutím na buňku se zobrazí roletka (Obr. 4.7) s možnostmi požadovaného výběru dat.



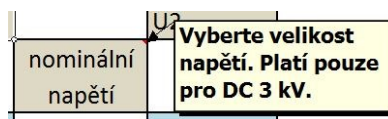
Obr. 4.6: Výběr trakce – komentář.



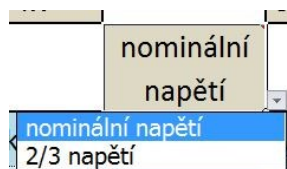
Obr. 4.7: Výběr trakce – roletka.

### Velikost napětí – DC 3 kV

Při navedení šipky na buňku se zobrazí komentář, který popisuje, že tato buňka je aktivní pouze tehdy, je-li v buňce *Výběr trakce* vybrán typ trakčního napájení DC 3 kV (Obr. 4.8), náchylného na pokles napětí na dvě třetiny nominálního napětí, tedy na 2 000 V. Po zvolení buňky se zobrazí roletka s možností volby velikosti napětí (Obr. 4.9).



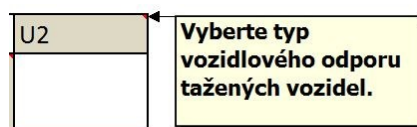
Obr. 4.8: Velikost napětí – DC 3 kV – komentář.



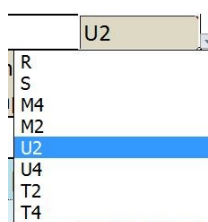
Obr. 4.9: Velikost napětí – DC 3 kV – roletka.

## Vozidlový odpor

Tato buňka slouží pro volbu vozidlového odporu tažených vozů. Při navedení šipky na uvedenou buňku se zobrazí vyzvání k volbě vozidlového odporu tažených vozidel (Obr. 4.10) po následném kliknutí se zobrazí roletka, která poskytne možnost volby k charakterizaci jednotlivých druhů tažených vozů (Obr. 4.11).



Obr. 4.10: Vozidlový odpor – komentář.



Obr. 4.11: Vozidlový odpor – roletka.

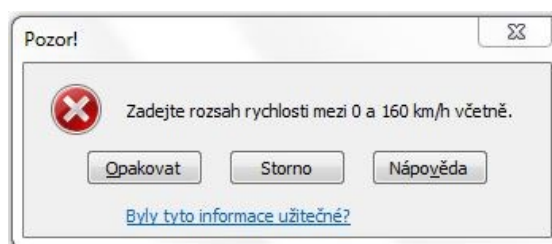
## Požadovaná rychlost

Do této buňky uživatel zadává hodnotu rychlosti, pro kterou chce normativ hmotnosti stanovit. Při nasměrování šipky na buňku se zobrazí komentář, popisující v jakém intervalu lze hodnotu rychlosti volit (Obr. 4.12). Při překročení intervalu se zobrazí chybové hlášení (Obr. 4.13).

V [km/h]	V [km/h]
30	
Adheze [1]	
1	

Zadejte hodnotu požadované rychlosti vlaku od 0 do 160 km/h včetně.

Obr. 4.12: Požadovaná rychlost – komentář.



Obr. 4.13: Požadovaná rychlost – chybové hlášení.

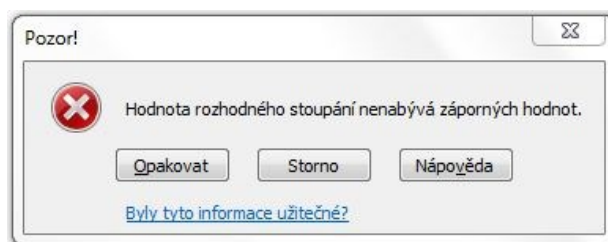
## Rozhodné stoupání

Tato buňka slouží pro zadávání rozhodného stoupání tratě. Při navedení šipky na buňku se zobrazí komentář (Obr. 4.14). Při zadání neplatné hodnoty *Rozhodného stoupání* se zobrazí chybové hlášení (Obr. 4.15).

$s_{rk}$ [‰]	0
4	

Zadejte hodnotu rozhodného stoupání v ‰.

Obr. 4.14: Rozhodné stoupání – komentář.



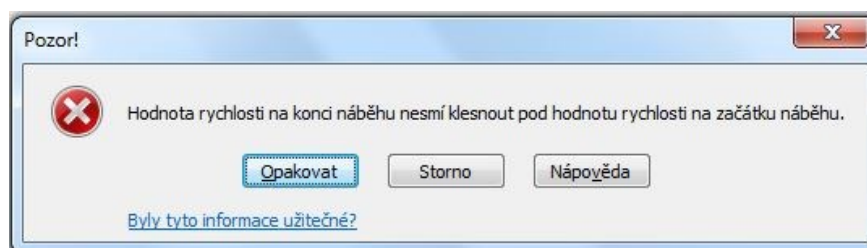
Obr. 4.15: Rozhodné stoupání – chybové hlášení.

### Hodnota poklesu rychlosti při náběhu

Do této buňky uživatel zadává hodnotu zamýšleného poklesu rychlosti na konci náběhového stoupání. K zadání je vyzván komentářem (Obr. 4.16), při zadání neplatné hodnoty tohoto poklesu rychlosti (rychlost na konci náběhu je větší než rychlost na začátku náběhu) se zobrazí chybové hlášení (Obr. 4.17).



Obr. 4.16: Hodnota poklesu rychlosti při náběhu – komentář.



Obr. 4.17: Hodnota poklesu rychlosti při náběhu – chybové hlášení.

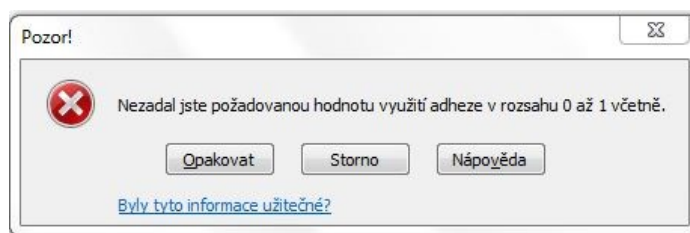
## Využití adheze

V této buňce je charakterizováno procentuální využití maximální adheze. To znamená, pokud do buňky zadáme hodnotu využití adheze 0,6, zjistíme tak hodnotu normativu hmotnosti při 60 % využití maximální adheze. Pokud navedeme šipku na buňku, zobrazí se komentář (Obr. 4.18). Při zadání neplatné hodnoty využití adheze se zobrazí chybové hlášení (Obr. 4.19).

Adheze [1]	4	M <sub>L</sub> [t]
1		
M <sub>R</sub> [t]		
1759		

Zadejte požadovanou hodnotu využití adheze od 0 do 1 včetně.

Obr. 4.18: Využití adheze – komentář.



Obr. 4.19: Využití adheze – komentář.

## Hmotnost lokomotivy

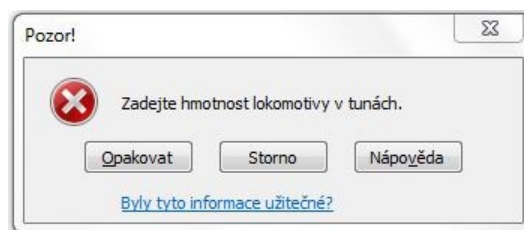
Do této buňky zadává uživatel hmotnost lokomotivy v tunách (Obr. 4.20), při zadání neplatné hodnoty se zobrazí chybové hlášení (Obr. 4. 21).

M <sub>L</sub> [t]
85

Zadejte hmotnost lokomotivy v tunách.

Obr. 4.20: Hmotnost lokomotivy – komentář.





Obr. 4. 21: Hmotnost lokomotivy – chybové hlášení.

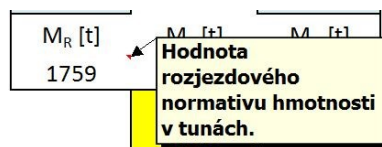
### Výstupní oblast:

Výstupní oblast tvoří stanovený normativ hmotnosti (žlutá výplň buňky) v tunách, který je určen jako minimální hodnota z dílčích normativů hmotnosti zaokrouhlených dolů na celé číslo v tunách.

Rozjezdový normativ hmotnosti je počítán podle vztahu (3.5). Za tažnou sílu na spřáhle při rozjezdu je dosazena hodnota tažné síly při kritické rychlosti  $V_{krit}$  a plného využití adheze (100%). Bohužel při snížení hodnoty využití adheze klesne i adhezní křivka tažné síly na mezi adheze, v tom případě se hodnota kritické rychlosti zvýší. Problémem však bylo stanovit tuto kritickou rychlost jako průsečík adhezní a výkonové křivky (polynom druhého a vyššího stupně). Proto je ve vztahu uvažovaná vždy hodnota tažné síly na spřáhle při kritické rychlosti  $HV$  za plného využití adheze, která je vynásobená hodnotou požadovaného využití adheze. Tuto hodnotu zadá uživatel.

Průjezdový normativ hmotnosti je počítán podle vztahu (3.6).

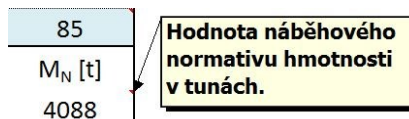
Náběhový normativ hmotnosti je počítán podle vztahu (3.7), kde za délku náběhového úseku  $l_n$  byla dosazena hodnota 1 000 m, protože tato hodnota je uvažována při výpočtu rozhodného stoupání  $s_{rk}$ . Za tažnou sílu na spřáhle byla dosazena průměrná hodnota tažné síly na spřáhle, která se určí jako průměrná hodnota ze součtu tažných sil na spřáhle na začátku a na konci náběhového stoupání. Uvažovaná hodnota součinitele rotujících hmot  $\rho$  byla zvolena 0,06 za předpokladu, že hmotnost vlaku je větší než 400 t.



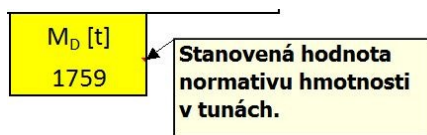
Obr. 4.22: Rozjezdový normativ hmotnosti – komentář.



Obr. 4.23: Průjezdový normativ hmotnosti – komentář.

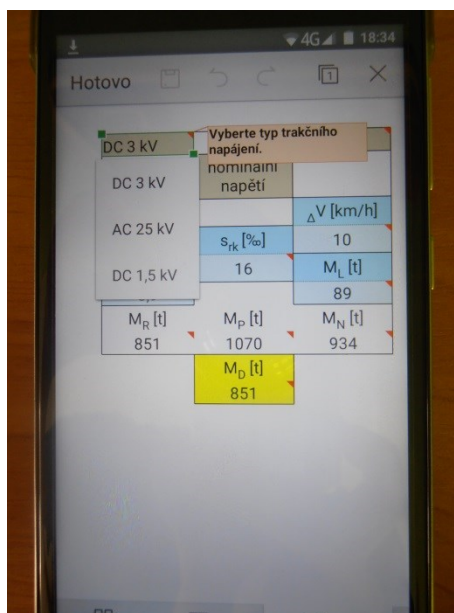


Obr. 4.24: Náběhový normativ hmotnosti – komentář.



Obr. 4.25: Stanovený normativ hmotnosti – komentář.

Na obrázku (Obr. 4.26) je ukázka vizualizace pomůcky na chytrém telefonu. Jak je vidět na obrázku, provozní pomůcka **A** byla navrhována za účelem co největší úspory místa.



Obr.4.26: Vizualizace provozní pomůcky A na chytrém telefonu.

## 4.4 Provozní pomůcka B

Tato provozní pomůcka je určena pro chytré telefony staršího výrobního data. Zkoušením bylo zjištěno, že na některých telefonech nefungovaly roletky a funkce ověření dat, proto bylo zapotřebí zvolit odlišnou zadávací metodou. Početní jádro provozní pomůcky **B** je totožné jako u předchozí provozní pomůcky. Rozdílnost v ovládání spočívá v tom, že uživatel namísto roletek používá přiřazovací číselný systém. To znamená, že každému vstupnímu údaji je přiřazeno číslo (například vozidlový odpor tažených vozidel osobních má přiřazen číslo jedna, toto číslo vepíše uživatel do buňky C3). Znázornění vstupní a výstupní oblasti (Obr. 4.27).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		1	<--napájecí systém					
3		$s_{rk}$ [%]	1	<--vozidlový odpor tažených vozidel				
4		4	$\Delta V$ [km/h]	1	<--pokles napětí v síti - platí pouze pro DC 3 kV			
5		$V$ [km/h]	0	Adheze [1]				
6		30	$M_L$ [t]	1				
7			85					
8		$M_R$ [t]	$M_P$ [t]	$M_N$ [t]				
9		2834	4945	4945				
10			$M_D$ [t]					
11			2834					

Obr. 4.27: Vzhled provozní pomůcky **B**.

### 4.4.1 Rozbor jednotlivých oblastí

#### Vstupní oblast

Vysvětlivky pro hodnoty, které uživatel zadává do buněk s přiřazovacím číselným systémem, jsou vykresleny na obrázku (Obr. 4.28).

**Vysvětlivky: B2; C3; D4**

**Buňka B2--> napájecí systémy**

Pro:	Do B2 zadej!
DC 3 kV	1
AC 25 kV	2
DC 1,5 kV	3

**Buňka C3 --> vozidlový odpor tažených vozidel**

Pro:	Do C3 zadej!
R	1
S	2
M4	3
M2	4
U2	5
U4	6
T2	7
T4	8

**Buňka D4 --> slouží k vyjádření poklesu napětí v síti DC 3 kV**

Pro:	Do D4 zadej!
nominální napětí 3 kV	1
2/3 napětí	2

Obr. 4.28: Vysvětlivky pro buňky s přiřazovacím číselným systémem.

Jak je vidět na (Obr. 4.28) pro napájecí síť DC 3 kV zapíše uživatel do buňky B2, která charakterizuje typ trakčního napájení, číslo 1. Pro napájecí síť AC 25 kV zapíše uživatel do buňky B2 číslo 2 a pro napájecí síť DC 1,5 kV zapíše uživatel do buňky B2 číslo 3. Stejným principem vyplní uživatel i buňku C3 a D4.

Vyplňování dalších buněk (pro rozhodné stoupání, požadovanou rychlost, hodnotu poklesu rychlosti při náběhu, využití adheze, hmotnost lokomotivy) probíhá stejně jako v provozní pomůcce A. Vysvětlivky, které mají totožnou barevnou výplň jako buňky, jimž tyto vysvětlivky náleží, jsou umístěny napravo od provozní pomůcky (Obr. 4.29).

**Vysvětlivky: B4; B6; C5; C7; D6**

Do:	Zadej!
B4	hodnotu rozhodného stoupání na daném úseku tratě v ‰
B6	požadovanou rychlost vlaku od 0 do 160 v km/h včetně
C5	předpokládaný pokles rychlosti vlaku u náběhového technického normativu hmotnosti v km/h
C7	hmotnost lokomotivy v tunách
D6	hodnotu využití adheze od 0 do 1 včetně

Obr. 4.29: Vysvětlivky pro buňky, do kterých zadáváme (rozhodné stoupání, požadovanou rychlost, hodnotu poklesu rychlosti při náběhu, využití adheze a hmotnost lokomotivy).

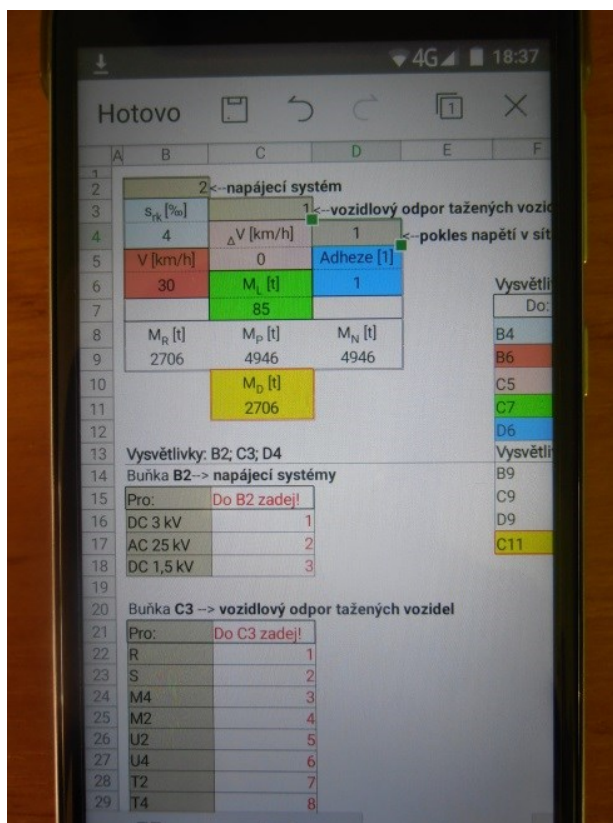
**Výstupní oblast**

Výstupní oblast tvoří stejně jako u provozní pomůcky **A** stanovený normativ hmotnosti (žlutá výplň buňky) v tunách, který je určen jako minimální hodnota z dílčích normativů hmotnosti zaokrouhlených dolů na celé číslo v tunách. Vysvětlivky k těmto buňkám jsou umístěny pod vysvětlivkami buněk, do nichž zadáváme rozhodné stoupání, požadovanou rychlost, hodnotu poklesu rychlosti při náběhu, využití adheze a hmotnost lokomotivy. Ukázka na obrázku (Obr. 4.30).

Vysvětlivky: B9; C9; D9; C11	
B9	rozjezdový normativ hmotnosti vlaku v tunách
C9	průjezdový normativ hmotnosti vlaku v tunách
D9	náběhový normativ hmotnosti vlaku v tunách
C11	stanovený normativ hmotnosti vlaku v tunách

Obr. 4.30: Vysvětlivky k výstupům.

Z vizualizace provozní pomůcky **B** na obrázku (Obr.4.31) je patrná barevná názornost pomůcky, která byla zhotovena za účelem snadné orientace na obrazovce chytrého telefonu.

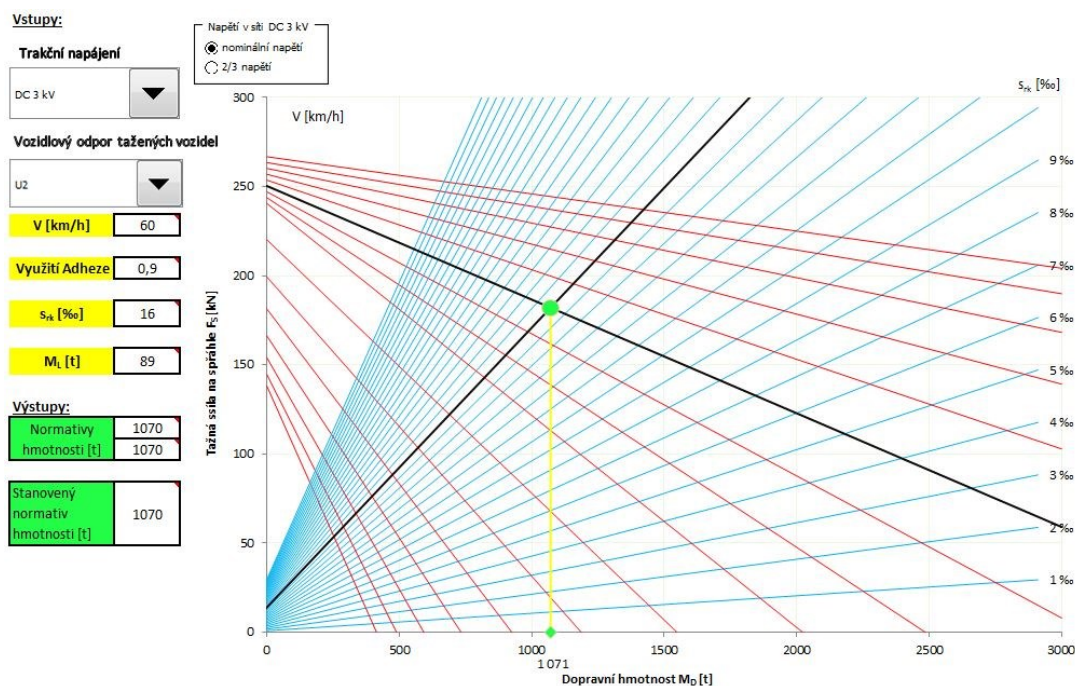


Obr. 4.31: Ukázka vizualizace provozní pomůcky **B** na chytrém telefonu.

## 4.5 Učební pomůcka

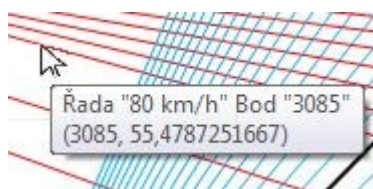
Názornost popisované pomůcky je její výhodou, proto je vhodná k užití jako učební pomůcka pro strojvedoucí. Skládá se ze vstupní, výstupní číselné a grafické oblasti v podobě Korefova nomogramu, jak je vidět na obrázku (Obr. 4.32). Buňky, u nichž je potřeba, jsou opatřeny komentářem, jenž se zobrazí při navedení šipky na příslušnou buňku. Toto je stejné jako u provozní pomůcky **A**. Stejně tak jsou zde nastaveny i omezující podmínky zadávaných hodnot.



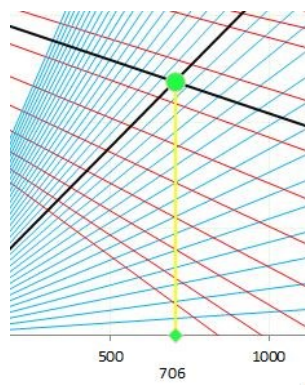


Obr. 4.32: Vzhled učební pomůcky.

Grafická oblast výstupu je tvořená nomogramem, jehož horizontální osa představuje normativ hmotnosti vlaku  $M_D$  v tunách. Na vertikální ose, která je umístěná vlevo, je znázorněna tažná síla na spráhle  $F_s$  HV v kN. Na vertikální ose nacházející se vpravo, jsou vyneseny hodnoty rozhodných stoupání  $s_{rk}$  v ‰. Červené úsečky představují rychlost vlaku, modré znázorňují hodnoty jednotlivých rozhodných stoupání. Po navedení šipky na příslušnou úsečku se zobrazí komentář udávající její hodnotu, jak je vidět na obrázku (Obr.4.33). Černé úsečky nám definují hodnotu průsečíku (*Stanoveného normativu hmotnosti vlaku*), který je pro názornost vyznačen zeleným bodem a přes žlutou úsečku přenesen na osu udávající  $M_D$  viz obrázek (Obr. 4.34).

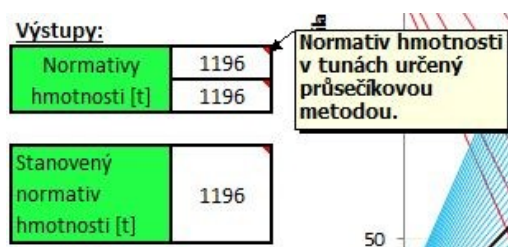


Obr.4.33: Komentář definující hodnotu úsečky.



Obr.4.34: Vynesení průsečíku na osu  $M_D$ .

Číselná oblast výstupu je tvořená třemi buňkami, jak je vidět na obrázku (Obr.4.35). Buňka umístěná nejniž ve zmiňované oblasti (buňka *Stanovený normativ hmotnosti*) charakterizuje stanovenou hodnotu normativu hmotnosti vlaku v tunách pro konkrétní vstupní hodnoty.



Obr.4.35: Číselná oblast výstupu.

Buňky ve zmiňované oblasti nad buňkou *Stanovený normativ hmotnosti* představují hodnotu normativu hmotnosti vlaku stanovenou dvěma metodami.

První metoda stanovení normativu hmotnosti vlaku v tunách je založena na určení průsečíku přímek  $y_1$  a  $y_2$  za předpokladu, že známe krajní body těchto přímek. Vztahy pro výpočet souřadnic  $(x, y)$  hledaného průsečíku popisují rovnice (4.1) a (4.2). Hodnota normativu hmotnosti vlaku určená touto metodou je obsažena v buňce, ke které se váže komentář, viz obrázek (Obr.4.33).

Druhá, ověřovací metoda je založená na vyjádření normativu hmotnosti vlaku ze základní pohybové rovnice vlaku za předpokladu, že vlak jede konstantní rychlostí, viz vztah (3.6). Hodnota normativu hmotnosti vlaku podle zmiňované metody byla umístěna pod hodnotu normativu určenou průsečíkovou metodou, jak je patrné z obrázku (Obr.4.33).



$$x = \frac{(y_2 - y_1) \cdot (x_4 - x_3) \cdot x_1 + (x_2 - x_1) \cdot (x_4 - x_3) \cdot (y_3 - y_1) - (y_4 - y_3) \cdot (x_2 - x_1) \cdot x_3}{(y_2 - y_1) \cdot (x_4 - x_3) - (x_2 - x_1) \cdot (y_4 - y_3)} \quad (4.1)$$

kde:

$x_1$   $x$ -ová souřadnice prvního bodu přímky  $y_1$

$x_2$   $x$ -ová souřadnice druhého bodu přímky  $y_1$

$y_1$   $y$ -ová souřadnice prvního bodu přímky  $y_1$

$y_2$   $y$ -ová souřadnice druhého bodu přímky  $y_1$

$x_3$   $x$ -ová souřadnice prvního bodu přímky  $y_2$

$x_4$   $x$ -ová souřadnice druhého bodu přímky  $y_2$

$y_3$   $y$ -ová souřadnice prvního bodu přímky  $y_2$

$y_4$   $y$ -ová souřadnice druhého bodu přímky  $y_2$

$$y = \frac{x \cdot (y_2 - y_1) + y_1 \cdot (x_2 - x_1) - x_1 \cdot (y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} \quad [10] \quad (4.2)$$

## 5 Ověření stanovení normativu hmotnosti pro vybraná vozidla a traťové úseky

V této kapitole jsou uvedeny vzorové výpočty, pro ověření správnosti postupu řešení problematiky ověření normativu hmotnosti vlaku. Zmiňovaná kapitola se skládá ze tří částí. V první proběhne ověření provozní pomůcky **A (B)**, v druhé proběhne ověření učební pomůcky. A část třetí část bude věnovaná porovnání zadaného HV (Siemens Vectron) s ostatními HV vyskytujícími se na dopravní cestě provozované SŽDC.

## 5.1 Ověření provozní pomůcky A (B)

Pro provedení ověřujícího výpočtu musíme nejprve stanovit omezující vstupní podmínky.

Tab. 5.1: Vstupní hodnoty.

Trakční napájení	DC 3 kV – nominální napětí
Typ vozidlového odporu	$U_2$
Požadovaná rychlost vlaku	$60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
Předpokládaný pokles rychlosti u náběhového normativu hmotnosti	$10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
Využití adheze	90 %
Rozhodné stoupání	16 ‰
Hmotnost lokomotivy	89 t

Nejprve určíme tažnou sílu na spřáhle HV při rychlosti  $V_2$ ,  $V_1$  a  $V_{krit}$  ze vztahu

$$y = -0,364 \cdot x + 300.$$

$$F_{SV2} = -0,364 \cdot 60 + 300 = 278,16 \text{ kN}$$

$$F_{SV1} = -0,364 \cdot 50 + 300 = 281,18 \text{ kN}$$

$$F_{SMR} = -0,364 \cdot 80 + 300 = 270,88 \text{ kN}$$

Nyní výsledné hodnoty tažných sil na spřáhle vynásobíme hodnotou využití adheze:

$$F_{SV2} = 278,16 \cdot 0,9 = 250,344 \text{ kN}$$

$$F_{SV1} = 281,18 \cdot 0,9 = 253,062 \text{ kN}$$

$$F_{SMR} = 270,88 \cdot 0,9 = 243,792 \text{ kN}$$

Náběhovou tažnou sílu na spřáhle určíme podle vztahu:

$$F_{s_N} = \frac{F_{s_{V2}} + F_{s_{V1}}}{2} = 251,703 \text{ kN}$$

Nyní zjistíme hodnotu pro součinitele vozidlového odporu při stanovených rychlostech.

$$o_{D_{U2}} = 2 + \frac{60^2}{800} = 6,5 \text{ N} \cdot \text{kN}^{-1}$$

$$o_{D_{U2}} = 2 + \frac{50^2}{800} = 5,125 \text{ N} \cdot \text{kN}^{-1}$$

$$o_{D_{U2}} = 2 + \frac{80^2}{800} = 10 \text{ N} \cdot \text{kN}^{-1}$$

Hodnotu součinitele vozidlového odporu pro náběhový normativ hmotnosti stanovíme podle vztahu:

$$\overline{o_D} = \frac{o_{50U2} + o_{60U2}}{2} = 5,8125 \text{ N} \cdot \text{kN}^{-1}$$

Nyní dosadíme hodnoty do vztahů pro výpočet normativu hmotnosti, viz kapitola 3.2.

$$M_R = \frac{F_{spR} - G_L \cdot o_t}{o_D + o_T + o_R} \cdot \frac{10^{-3}}{g} = \frac{243\,792 - 89\,000 \cdot 9,81 \cdot 0,016}{0,01 + 0,016 + 0,0015} \cdot \frac{0,001}{9,81} = 851,9 \text{ t}$$

$$M_P = \frac{F_{spP} - G_L \cdot o_t}{o_D + o_T} \cdot \frac{10^{-3}}{g} = \frac{250\,344 - 89\,000 \cdot 9,81 \cdot 0,016}{0,0065 + 0,016} \cdot \frac{0,001}{9,81} = 1\,070,9 \text{ t}$$

$$M_N = \frac{10^{-3}}{g} \cdot \frac{F_{spN} - G_L \cdot \left( o_T - \frac{1 + \rho}{g} \cdot \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot 3,6^2} \cdot \frac{1}{l_n} \right)}{\overline{o_D} + o_T + \frac{1 + \rho}{g} \cdot \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot 3,6^2} \cdot \frac{1}{l_n}}$$

$$M_N = \frac{0,001}{9,81} \cdot \frac{251\,703 - 89\,000 \cdot 9,81 \cdot \left(0,016 - \frac{1 + 0,06}{9,81} \cdot \frac{60^2 - 50^2}{2 \cdot 3,6^2} \cdot \frac{1}{1\,000}\right)}{5,8125 + 0,016 + \frac{1 + 0,06}{9,81} \cdot \frac{60^2 - 50^2}{2 \cdot 3,6^2} \cdot \frac{1}{1\,000}} = 934,6 \, t$$

Zas stanovený normativ hmotnosti vlaku bychom prohlásili rozjezdový normativ hmotnosti, tedy:  $M_D = 851,9 \, t$ . Protože provozní pomůcky **A** (**B**) zaokrouhlují hodnotu normativu hmotnosti vlaku na celé tuny dolů, stanovená hodnota normativu hmotnosti vlaku pomocí pomůcky by byla 851 t.

## 5.2 Ověření učební pomůcky

Vstupní hodnoty jsou totožné jako v předchozí pomůcce.

Ověření normativu hmotnosti metodou vyjádření normativu hmotnosti z pohybové rovnice vlaku:

$$M_P = \frac{F_{spP} - G_L \cdot o_t}{o_D + o_T} \cdot \frac{10^{-3}}{g} = \frac{250\,344 - 89\,000 \cdot 9,81 \cdot 0,016}{0,0065 + 0,016} \cdot \frac{0,001}{9,81} = 1\,070,9 \, t$$

Ověření normativu hmotnosti průsečíkovou metodou:

Body úsečky  $y_1$ :

$$x_1 = 0 \, t$$

$$y_1 = 250,344 \, kN$$

$$x_2 = 3\,000 \, t$$

$$y_2 = 250,344 - 3\,000 \cdot 9,81 \cdot 0,0065 = 59,049 \, kN$$

Body úsečky  $y_2$ :

$$x_3 = -89 \text{ t}$$

$$y_3 = 0 \text{ kN}$$

$$x_4 = -89 + 3\,000 = 2\,911 \text{ t}$$

$$y_4 = 0,016 \cdot 3\,000 \cdot 9,81 = 470,88 \text{ kN}$$

Souřadnice průsečíku:

$$x = \frac{(59,049 - 250,344) \cdot (2\,911 + 89) \cdot 0 + (3\,000 - 0) \cdot (2\,911 + 89) \cdot (0 - 250,344) - (470,88 - 0) \cdot (3\,000 - 0) \cdot (-89)}{(59,049 - 250,344) \cdot (2\,911 + 89) - (3\,000 - 0) \cdot (470,88 - 0)}$$

$$x = 1\,070,9 \text{ t}$$

$$y = \frac{1\,070,9 \cdot (59,049 - 250,344) + 250,344 \cdot (3\,000 - 0) - 0 \cdot (59,049 - 250,344)}{3\,000 - 0}$$

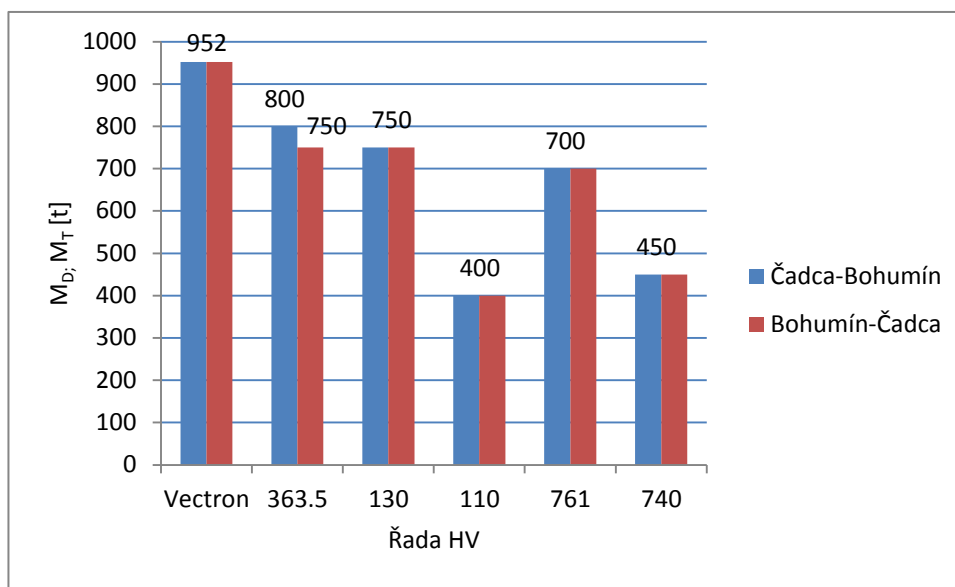
$$y = 182,58 \text{ kN}$$

Protože učební pomůcka zaokrouhluje hodnoty normativu hmotnosti vlaku dolů na celé tuny, byla by hodnota stanoveného normativu hmotnosti vlaku  $M_D = 1070 \text{ t}$ .

### 5.3 Porovnání HV Siemens Vectron MS řady X4 s ostatními HV

Porovnání proběhne na trati 301 A. Trať je vymezena svým začátkem ve stanici (Čadca ŽSR) – Mosty u Jabl. st. hr. (km 286,534) a koncem ve stanici Bohumín (km 275,908). Podle vztahu (3.6) a TTP (tabulky 6b) příslušné tratě bylo stanoveno rozhodné stoupání v obou směrech na hodnotu 16 ‰. Porovnání bude provedeno pro první traťovou kolej v kritickém úseku trati (Mosty u Jabl. st. hr. – Návsi) pro oba směry.

Tato trať je vybavená napájecí sítí DC 3 kV. Za předpokladu, že pokles napětí zanedbáváme a bude se jednat o průběžný nákladní vlak při rychlosti  $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , s hmotností lokomotivy 89 t, plným využitím adheze a typem vozidlového odporu  $U_2$ , poté je stanovena hodnota normativu hmotnosti vlaku podle provozní pomůcky **A** (**B**) znázorněná na grafu (Graf 5.1). Hodnoty technických normativu pro vybraná hnací vozidla byly čerpány z dokumentu SJŘ (tabulka 4).



Graf 5.1: Porovnání technického normativu hmotnosti vybraných řad HV s normativem hmotnosti HV Vectron.

## 6 Provozně technické zhodnocení

Pomůcky vyhotovené v této bakalářské práci mohou mít široké využití ať už při posuzování normativu hmotnosti pro HV Siemens Vectron v praxi nebo jako doplňující pomůcky při výuce strojevedoucích. Díky velké rozšířenosti chytrých telefonů a tabletů mohou být tyto pomůcky dostupné každému, kdo chytrý telefon nebo tablet vlastní. Inovace těchto pomůcek by se mohla ubírat směrem, který by tyto pomůcky rozšířil o možnost volby dalších HV. Tato funkce by dané pomůcky ještě více zefektivnila pro využití v praxi. Vylepšení zmiňovaných pomůcek by mohlo být motivováno také tím, abychom mohli posoudit normativ hmotnosti při zadání poměrného výkonu stanoveného HV s plynulou regulací výkonu. Například posoudit normativ hmotnosti při 60 % využití plného výkonu stanoveného HV. Pokud by byly pomůcky doplněny o další řady HV, například se stupňovou regulací výkonů, bylo by taktéž vhodné vnořit do těchto pomůcek funkci, která by nám poskytovala možnost volby jednotlivých regulačních stupňů.

## 7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit interaktivní provozní a učební pomůcky pro posouzení normativu hmotnosti zadaného hnacího vozidla. V teoretické části byl proveden rozbor pohybové rovnice kolejových vozidel a jejich jednotlivých složek (*tažná síla HV, traťové odpory, vozidlové odpory, odpory ze zrychlení*). Tato část také obsahovala základní pojmy týkající se tématu posouzení normativu hmotnosti. Dále byly v teoretické části této bakalářské práce zahrnuty metody pro stanovení hodnoty normativu hmotnosti vlaku, a to jak grafické, tak analytická. Pod grafickými metodami byly uvedeny dva typy nomogramů (*Mrkvičkův, Korefův*). Pod analytickou metodou stanovení hodnoty normativu hmotnosti byly uvedeny vztahy vycházející ze základní rovnice pohybu vlaku, tyto vztahy byly čerpány ze skript *Mechanika v dopravě I* a předpisu *V7 – Trakční výpočty*. V závěru této práce jsou uvedeny zvolené metody stanovení hodnoty normativu hmotnosti pro vyhotovení pomůcek. Dále je závěr teoretické části této práce věnován tabulkám technického normativu hmotnosti (*zátěžovým tabulkám*) doplněný o obrázkovou ukázkou z prvního doplňku předpisu D2.

Praktická část práce byla v první řadě věnovaná návrhu a popisu jednotlivých pomůcek. Tyto pomůcky byly vyhotoveny pomocí SW Microsoft Excel 2010. Provozní pomůcky byly navrženy tak, aby jejich ovládání bylo co nejintuitivnější (barevné rozlišení buněk) a aby byly co nejúspornější z hlediska zaplnění obrazovky. Učební pomůcka byla navržena také s ohledem na intuitivnost ovládání a také tak, aby co nejvíce vynikla grafická část této pomůcky (viz barevná odlišnost úseček). Popisy jednotlivých pomůcek byly doplněny o názorné obrázkové ukázky. Dále praktická část této bakalářské práce obsahuje ověřující výpočty, které ověřily správnost návrhu pomůcek. V neposlední řadě bylo v praktické části provedeno zkušební porovnání HV Siemens Vectron s vybranými HV na úseku tratě z Čadce do Bohumína. Při tomto porovnání bylo zjištěno, že HV Siemens Vectron má v kritickém úseku tratě, kde hodnota rozhodného stoupání nabývá hodnot 16 ‰, hodnotu normativu hmotnosti 952 t. Při pohledu na graf (Graf 5.1) můžeme vidět, že tato hodnota normativu je nejvyšší z hodnot porovnávaných HV. Je třeba podotknout, že hodnoty normativů ostatních HV jsou hodnoty technických normativů daných řád HV. Závěr práce je věnován provozně technickému zhodnocení pomůcek.



## 8 Seznam použité literatury

### Knihy

[1] HERZÁŇ, František a kol. *Mechanika dopravy koľajových vozidiel*. 1.vyd. Nakladatelství dopravy a spojů Praha při Vysoké škole dopravy s spojov v Žilne, 1989, 254 s.

[2] ŠIROKÝ, Jaromír. *Mechanika v dopravě I: kolejová vozidla*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2004, 121 s. ISBN 80-248-0536-7.

### Další zdroje

[3] D1. *Dopravní a návěstní předpis*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2013.

[4] TNŽ 28 0002. *Mechanika vozby. Názvosloví*. Praha: Federální ministerstvo dopravy a spojů, 1989.

[5] D2/1. *Doplňěk s technickými údaji k Dopravním předpisům*. Olomouc: METIS Olomouc, 1994.

[6] V7. *Trakční výpočty*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1979.

[7] LokoTrain převezme první ze tří lokomotiv Siemens Vectron. *Siemens Česká republika*. [online]. 4.3.2015 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z:[http://www.siemens.cz/press/cz/nove/press\\_releases-lokotrain-prevezme-prvni-ze-tri.html](http://www.siemens.cz/press/cz/nove/press_releases-lokotrain-prevezme-prvni-ze-tri.html)

[8] Pronájem lokomotiv a personálu. *LokoTrain*. [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.lokotrain.eu/images/vectron%20ms.jpg>

[9] Technický popis. *Lokomotiva Vectron*. Siemens AG , 2015.

[10] Matematické fórum/průsečík dvou úseček. *Matematika.cz: tady to pochopíš*. [online]. 30.1.2008 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z:<http://forum.matematika.cz/viewtopic.php?pid=8154>

## **9 Seznam příloh**

**Příloha 1** Provozní pomůcka A

**Příloha 2** Provozní pomůcka B

**Příloha 3** Učební pomůcka